



HAL
open science

Prise en charge à l'officine du sportif: nutrition et récupération

Yanis Ziane

► **To cite this version:**

Yanis Ziane. Prise en charge à l'officine du sportif: nutrition et récupération. Sciences pharmaceutiques. 2022. dumas-03722172

HAL Id: dumas-03722172

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03722172>

Submitted on 13 Jul 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

THESE

PRESENTEE ET PUBLIQUEMENT SOUTENUE DEVANT LA FACULTE DE
PHARMACIE DE MARSEILLE

LE 06 JUILLET 2022

PAR

Monsieur **YANIS ZIANE**

Né le 22 novembre 1993 à Tizi Ouzou

EN VUE D'OBTENIR

LE DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN PHARMACIE

TITRE :

**PRISE EN CHARGE A L'OFFICINE DU SPORTIF :
NUTRITION ET RECUPERATION**

JURY :

Président : Professeur Philippe PICCERELLE

Membres : Docteur Najim BENDJAMA, pharmacien titulaire
Docteur Mouad HAMMAMES, pharmacien

27 Boulevard Jean Moulin – 13385 MARSEILLE Cedex 05
Tel. : 04 91 83 55 00 – Fax : 04 91 80 26 12

ADMINISTRATION :

<i>Doyen :</i>	Mme Françoise DIGNAT-GEORGE
<i>Vice-Doyens :</i>	M. Jean-Paul BORG, M. François DEVRED, M. Pascal RATHELOT
<i>Chargés de Mission :</i>	Mme Pascale BARBIER, Mme Alexandrine BERTAUD, M. David BERGE-LEFRANC, Mme Manon CARRE, Mme Caroline DUCROS, M. Philippe GARRIGUE, M. Guillaume HACHE, M. Thierry TERME
<i>Conseiller du Doyen :</i>	M. Patrice VANELLE
<i>Doyens honoraires :</i>	M. Patrice VANELLE, M. Pierre TIMON-DAVID,
<i>Professeurs émérites :</i>	M. José SAMPOL, M. Athanassios ILIADIS, M. Philippe CHARPIOT, M. Riad ELIAS
<i>Professeurs honoraires :</i>	M. Guy BALANSARD, M. Yves BARRA, Mme Claudette BRIAND, M. Jacques CATALIN, Mme Andrée CREMIEUX, M. Gérard DUMENIL, M. Alain DURAND, Mme Danielle GARÇON, M. Maurice JALFRE, M. Joseph JOACHIM, M. Maurice LANZA, M. Patrick REGLI, M. Jean-Claude SARI
<i>Chef des Services Administratifs :</i>	Mme Chloé SIMON
<i>Chef de Cabinet :</i>	Mme Aurélie BELENGUER
<i>Responsable de la Scolarité :</i>	Mme Nathalie BESNARD

DEPARTEMENT BIO-INGENIERIE PHARMACEUTIQUE

Responsable : Professeur Philippe PICCERELLE

PROFESSEURS

BIOPHYSIQUE

M. Vincent PEYROT
M. Hervé KOVACIC
M. François DEVRED

GENIE GENETIQUE ET BIOINGENIERIE

M. Christophe DUBOIS

PHARMACIE GALENIQUE, PHARMACOTECHNIE INDUSTRIELLE,
BIOPHARMACIE ET COSMETOLOGIE

M. Philippe PICCERELLE

MAITRES DE CONFERENCES

BIOPHYSIQUE

Mme Odile RIMET-GASPARINI
Mme Pascale BARBIER
Mme Manon CARRE
M. Gilles BREUZARD
Mme Alessandra PAGANO

GENIE GENETIQUE ET BIOTECHNOLOGIE

M. Eric SEREE-PACHA
Mme Véronique REY-BOURGAREL

PHARMACIE GALENIQUE, PHARMACOTECHNIE INDUSTRIELLE,
BIOPHARMACIE ET COSMETOLOGIE

M. Pierre REBOUILLON
M. Emmanuel CAUTURE
Mme Véronique ANDRIEU
Mme Marie-Pierre SAVELLI

BIO-INGENIERIE PHARMACEUTIQUE ET BIOTHERAPIES
PHARMACO ECONOMIE, E-SANTE

M. Jérémy MAGALON
Mme Carole SIANI
Mme Muriel MASI

ENSEIGNANT CDI

ANGLAIS

Mme Angélique GOODWIN

A.H.U.

PHARMACOTECHNIE

Mme Mélanie VELIER

DEPARTEMENT BIOLOGIE PHARMACEUTIQUE

Responsable : Professeur Françoise DIGNAT-GEORGE

PROFESSEURS

BIOLOGIE CELLULAIRE

M. Jean-Paul BORG

HEMATOLOGIE ET IMMUNOLOGIE

Mme Françoise DIGNAT-GEORGE
Mme Laurence CAMOIN-JAU
Mme Florence SABATIER-MALATERRE
Mme Nathalie BARDIN
M. Romaric LACROIX

MICROBIOLOGIE

M. Jean-Marc ROLAIN
M. Philippe COLSON

PARASITOLOGIE ET MYCOLOGIE MEDICALE, HYGIENE ET
ZOOLOGIE

Mme Nadine AZAS-KREDER

MAITRES DE CONFERENCES

BIOCHIMIE FONDAMENTALE, MOLECULAIRE ET CLINIQUE

M. Edouard LAMY
Mme Alexandrine BERTAUD
Mme Claire CERINI
Mme Edwige TELLIER
M. Stéphane POITEVIN
Mme Sandra GHAYAD

HEMATOLOGIE ET IMMUNOLOGIE

Mme Aurélie LEROYER
Mme Sylvie COINTE

MICROBIOLOGIE

Mme Anne DAVIN-REGLI
Mme Véronique ROUX
M. Fadi BITTAR
Mme Isabelle PAGNIER
Mme Sophie EDOUARD
M. Seydina Mouhamadou DIENE

PARASITOLOGIE ET MYCOLOGIE MEDICALE, HYGIENE ET ZOOLOGIE

Mme Carole DI GIORGIO
M. Aurélien DUMETRE
Mme Magali CASANOVA
Mme Anita COHEN

BIOLOGIE CELLULAIRE
BIOLOGIE CELLULAIRE ET MOLECULAIRE

Mme Anne-Catherine LOUHMEAU
Mme Alexandra WALTON

A.H.U.

HEMATOLOGIE ET IMMUNOLOGIE

Mme Amandine BONIFAY

MAITRES DE CONFERENCE ASSOCIES A TEMPS PARTIEL (M.A.S.T.)

PRATIQUE OFFICINALE

Mme Emmanuelle TONNEAU-PFUG

DEPARTEMENT CHIMIE PHARMACEUTIQUE

Responsable : Professeur Patrice VANELLE

PROFESSEURS

CHIMIE ANALYTIQUE, QUALITOLOGIE ET NUTRITION

Mme Catherine BADENS

CHIMIE PHYSIQUE - PREVENTION DES RISQUES ET NUISANCES TECHNOLOGIQUES

M. David BERGE-LEFRANC

CHIMIE THERAPEUTIQUE - CHIMIE MINERALE ET STRUCTURALE

M. Pascal RATHELOT
M. Maxime CROZET

CHIMIE ORGANIQUE PHARMACEUTIQUE

M. Patrice VANELLE
M. Thierry TERME

MAITRES DE CONFERENCES

BOTANIQUE ET CRYPTOLOGIE, BIOLOGIE CELLULAIRE

Mme Anne FAVEL
M. Quentin ALBERT

CHIMIE ANALYTIQUE, QUALITOLOGIE ET NUTRITION

Mme Catherine DEFOORT
M. Alain NICOLAY
Mme Estelle WOLFF
Mme Elise LOMBARD
Mme Camille DESGROUAS
M. Charles DESMARCHELIER
M. Mathieu CERINO

CHIMIE PHYSIQUE - PREVENTION DES RISQUES ET
NUISANCES TECHNOLOGIQUES

M. Duje BURIC
M. Pascal PRINDERRE

CHIMIE THERAPEUTIQUE - CHIMIE MINERALE ET
STRUCTURALE

Mme Sandrine ALIBERT
Mme Caroline DUCROS
M. Marc MONTANA
Mme Manon ROCHE
Mme Fanny MATHIAS

CHIMIE ORGANIQUE PHARMACEUTIQUE
HYDROLOGIE

M. Armand GELLIS
M. Christophe CURTI
Mme Julie BROGGI
M. Nicolas PRIMAS
M. Cédric SPITZ
M. Sébastien REDON

PHARMACOGNOSIE, ETHNOPHARMACOLOGIE

Mme Valérie MAHIU-LEDDER
Mme Sok Siya BUN
Mme Béatrice BAGHDIKIAN
M. Elnur GARAYEV

MAITRES DE CONFERENCE ASSOCIES A TEMPS PARTIEL (M.A.S.T.)

CHIMIE ANALYTIQUE, QUALITOLOGIE ET NUTRITION
CHIMIE PHYSIQUE - PREVENTION DES RISQUES ET
NUISANCES TECHNOLOGIQUES

M. Cyril PUJOL

DROIT ET ETHIQUE

Mme Laurie PAHUS

GESTION PHARMACEUTIQUE, PHARMACOECONOMIE
ET ETHIQUE PHARMACEUTIQUE OFFICINALE, DROIT ET
COMMUNICATION PHARMACEUTIQUES A L'OFFICINE ET
GESTION DE LA PHARMAFAC

Mme Félicia FERRERA

DISPOSITIFS MEDICAUX

Mme Valerie MINETTI-GUIDONI

DEPARTEMENT MEDICAMENT ET SECURITE SANITAIRE

Responsable : Professeur Benjamin GUILLET

PROFESSEURS

PHARMACIE CLINIQUE	M. Stéphane HONORÉ
PHARMACODYNAMIE	M. Benjamin GUILLET
TOXICOLOGIE ET PHARMACOCINETIQUE	M. Bruno LACARELLE M. Joseph CICCOLINI
TOXICOLOGIE GENERALE	Mme Caroline SOLAS-CHESNEAU

MAITRES DE CONFERENCES

PHARMACIE CLINIQUE	M. Florian CORREARD Mme Marie-Anne ESTEVE
PHARMACODYNAMIE	M. Guillaume HACHE Mme Ahlem BOUHLEL M. Philippe GARRIGUE
PHYSIOLOGIE	Mme Sylviane LORTET
TOXICOLOGIE ET PHARMACOCINETIQUE	Mme Raphaëlle FANCIULLINO Mme Florence GATTACECCA Mme Anne RODALLEC M. Nicolas FABRESSE
TOXICOLOGIE GENERALE	M. Pierre-Henri VILLARD

A.H.U.

PHYSIOLOGIE / PHARMACOLOGIE	Mme Anaïs MOYON M. Vincent NAIL
-----------------------------	------------------------------------

CHARGES D'ENSEIGNEMENT A LA FACULTE

Mme Valérie AMIRAT-COMBRALIER, Pharmacien-Praticien hospitalier
M. Pierre BERTAULT-PERES, Pharmacien-Praticien hospitalier
Mme Marie-Hélène BERTOCCHIO, Pharmacien-Praticien hospitalier
Mme Martine BUES-CHARBIT, Pharmacien-Praticien hospitalier
M. Nicolas COSTE, Pharmacien-Praticien hospitalier
Mme Sophie GENSOLLEN, Pharmacien-Praticien hospitalier
M. Sylvain GONNET, Pharmacien titulaire
Mme Florence LEANDRO, Pharmacien adjoint
M. Stéphane PICHON, Pharmacien titulaire
M. Patrick REGGIO, Pharmacien conseil, DRSM de l'Assurance Maladie
Mme Clémence TABELLE, Pharmacien-Praticien attaché
M. Badr Eddine TEHHANI, Pharmacien – Praticien hospitalier
M. Joël VELLOZZI, Expert-Comptable

Mise à jour le 13 décembre 2021



**LE DOYEN
F. DIGNAT-GEORGE**

Remerciements

À mon Président de thèse, **Monsieur le Professeur PICCERELLE Philippe**,

Je vous remercie, pour me faire l'honneur de présider le jury de ma thèse,

Pour vos conseils et votre disponibilité tout au long de ce travail,

Pour vos enseignements au cours de notre formation universitaire,

Veillez trouver ici l'expression de ma reconnaissance.

A Monsieur BENDJAMA Najim, pharmacien titulaire,

Je vous remercie, pour m'avoir fait l'honneur d'accepter de faire partie des membres du jury, pour votre disponibilité, vos conseils pour la suite de ma carrière et à nos prochaines collaborations.

A Monsieur HAMAMES Mouad, pharmacien,

Je te remercie, pour m'avoir fait l'honneur d'accepter de faire partie des membres du jury, pour ces foots mémorables et j'espère d'autres collaborations dans le futur.

À **mes parents**, qui ont tout sacrifié et tout donner, m'ont mis dans les meilleures dispositions sans jamais rechigner, qui m'ont permis de réaliser mes objectifs, d'avoir d'autres perspectives qui m'ont toujours soutenu malgré les coups durs, je vous dis merci tanmirt sou mata.

À **mes frères**, Aris et Amayas, sans lesquels je ne serais pas où je suis maintenant, deux frères, deux exemples de réussite et d'acharnement, deux gars qui m'ont appris la vie, deux soutiens de taille depuis mon départ de ma Kabylie natale, merci à vous deux je vous souhaite le meilleur pour vous et vos familles respectives. QLF

A Mus et Claire-Lise, vous m'avez accueilli, aidé à mon arrivé et après, merci pour tout.

A mes amis, on va commencer par **Ayman** el maghribi, premier compagnon de route, on était bien pommé à notre arrivée mais on s'est soutenu, aidé, on a bien rigolé aussi, tu es devenu un membre à part entière de ma famille, je te remercie pour tout hbibi.

Yanis, mon frère d'une autre mère, à ta famille aussi, vous m'avez accueilli comme l'un des vôtres et je vous remercie pour ça, des bancs de la fac à nos soirées Play, aux moments plus compliqués, tu as été toujours un ami présent je te remercie pour ça pote.

Julie, une amie comme on en trouve si rarement de nos jours, toujours présente qui m'a accompagné de mes nombreuses galères, je te remercie.

Et à tous mes amis qui ont partagé mes années fac, **Chika**, à nos débats sans fin à refaire la vie et la société ; **Selim-Bastien**, à nos fous rires, à nos blagues que seules nous deux pouvons comprendre, un ami merveilleux, merci ; **Ali**, un mec brave, gentil et bienveillant, devenu un ami, merci pour tout ; **Amélia**, à nos moments drôles, à tes plats exquis, à ta gentillesse ; **Anas** mon frère, merci de ton aide, je n'oublierai jamais ta gentillesse, ta disponibilité, tu es un bon ; **Elies**, merci pour les travaux frero, ton altruisme tu es devenu un vrai ami en si peu de temps merci ; à **Sara**, à **Maelle** (binôme de choc), **Yannis** le voltigeur, et à tous les autres merci beaucoup.

« L'Université n'entend donner aucune approbation, ni improbation aux opinions émises dans les thèses. Ces opinions doivent être considérées comme propres à leurs auteurs. »

Tables des matières

Introduction :	10
I. Rappels physiologiques et anatomiques	11
I.1 Les différents types de muscles :	11
Les muscles squelettiques	11
Les muscles lisses :	11
I.1.1 Fonctions principales des muscles :	12
I.1.2 Caractéristiques fonctionnelles des muscles :	13
I.2 Structure du muscle squelettique :	14
I.2.1 Structure macroscopique :	14
I.2.2 Organisation générale du muscle :	15
I.2.3 Composition chimique	16
I.2.4 Attaches du muscle :	17
I.2.5 Vascularisation des muscles :	17
I.2.6 Innervation des muscles :	17
I.3 Structure microscopique et types de fibres :	19
I.3.1 Sarcolemme :	19
I.3.2 Sarcoplasme :	19
I.3.3 Organisation des myofibrilles :	20
I.3.4 Sarcomère :	22
I.4 Mécanisme de la contraction musculaire :	23
I.4.1 Contraction d'une fibre musculaire squelettique lors de l'exercice :	23
I.4.2 Stimulation motrice :	23
I.4.3 Théorie des filaments glissants d'Huxley :	24
I.4.4 Le relâchement du muscle :	24
I.4.5 ATP : au cœur de la contraction musculaire :	25
I.5 Définition d'une filière énergétique :	26
I.6 Les 3 filières énergétiques :	27
I.6.1 L'anaérobie alactique :	27
I.6.2 L'anaérobie lactique :	27
I.6.3 L'aérobie :	27
I.6.4 ATP et anaérobie alactique :	27
I.6.5 ATP et anaérobie lactique :	28
I.6.6 ATP et aérobie :	30

I.7	Qu'est-ce que l'activité physique ?	31
I.7.1	Le surentraînement :	33
I.7.2	Le « syndrome de surentraînement » :	33
I.7.3	Les causes d'un surentraînement :	33
I.7.4	Symptômes surentraînement :	34
II.	Nutrition	35
II.1	Protéines et récupération :	37
II.1.1	Le métabolisme protéique et la récupération :	37
II.1.1.1	Dans le cadre du sportif d'endurance :	37
II.1.1.2	Dans le cadre du sportif de force :	39
II.1.2	Les acides aminés :	40
II.1.3	Les compléments alimentaires :	40
II.1.4	La glutamine :	40
II.1.5	Les BCAA (Branched Chain Amino Acids) :	41
II.2	Glucides et récupération :	42
II.2.1	Réserves en glucides et contribution à l'exercice :	42
II.2.2	Index glycémique pour le sportif :	43
II.2.3	L'impact de l'index glycémique sur la constitution de réserve en glycogène : ..	44
II.2.4	Spécificités de l'exercice et conséquences sur la resynthèse en glycogène :	44
II.2.5	Rôle des glucides :	44
II.2.5.1	Les glucides provenant de l'alimentation :	45
II.2.6	Préparation physique avant une échéance sportive :	46
II.2.6.1	En amont de l'effort :	46
II.2.6.2	Quelques minutes avant l'effort :	46
II.2.6.3	Au moment de l'exercice :	47
II.2.6.4	En phase de récupération après l'effort :	48
II.3	Les lipides dans l'alimentation du sportif :	49
II.3.1	La lipolyse adipocytaire et son contrôle :	49
II.3.2	Mobilisation des lipides et exercice musculaire :	51
II.3.3	La dégradation des lipides :	51
II.3.4	Parcours des acides gras :	51
II.3.5	Certains ergogènes agissent sur le métabolisme lipidique :	52
II.3.6	Les besoins lipidiques :	52
II.4	Les micronutriments :	53
II.4.1	Le fer :	54

II.4.2	Les missions du fer :	54
II.4.3	Les pertes de fer :	54
II.4.4	Les conséquences de la carence en Fer chez le sportif :	55
	Comment apporter suffisamment de Fer par l'alimentation ?.....	55
II.4.5	Les recommandations d'apports du fer :	55
II.4.6	Conseils diététiques afin d'optimiser les apports alimentaires en Fer :	56
II.5	Magnésium :	56
II.5.1	Sa localisation :	56
II.5.2	Rôle du magnésium :	57
II.5.3	Correction des déficits :	57
II.5.4	Recommandations d'apport chez le sportif.....	57
II.6	Calcium :	58
II.6.1	Définition, fonctions et rôles :	58
II.6.2	Les aliments les plus riches en calcium :	59
II.6.2.1	Le zinc :	59
II.6.2.2	Le chrome :	60
II.7	Les vitamines :	60
II.7.1	Les différentes vitamines :	60
II.7.1.1	La vitamine B2 :	61
II.7.1.2	La vitamine B3 :	62
II.7.1.3	La vitamine B5 :	63
II.7.1.4	La vitamine B6 :	63
II.7.1.5	Vitamine B8 :	63
II.7.1.6	La vitamine B9 :	64
II.7.1.7	La vitamine B12 :	65
II.7.1.8	La vitamine C :	65
II.7.1.9	La vitamine A :	66
II.7.1.10	Vitamine D :	66
II.7.2	Mise en jeu lors du travail musculaire :	68
II.7.3	La capacité antiradicalaire des vitamines :	68
II.7.4	Quels sont les apports conseillés :	68
II.8	Les micro-constituants :	69
II.8.1	Les molécules que l'organisme peut synthétiser :	69
II.8.2	Complémentation et supplémentation :	70
II.8.3	Conseils à l'officine :	71

III.	Méthodes de récupération :	73
III.1	Sommeil et récupération :	73
III.1.1	Le sommeil :	73
III.1.1.1	Stades du sommeil :	73
III.1.1.2	L'horloge biologique :	75
III.1.1.3	Influence du manque de sommeil sur les performances sportive :	75
III.1.2	Alimentation et sommeil :	78
III.1.2.1	Les aliments et boissons qui nuisent au sommeil :	78
III.1.2.2	Hyperhydratation tardive et sommeil :	78
III.1.3	Conseil à l'officine :	79
III.1.3.1	Les spécialités en phytothérapie :	79
III.1.3.2	Les inducteurs de sommeil :	80
III.1.3.3	3-La prise d'oligoéléments :	81
III.2	Hydratation :	82
III.2.1	Les recommandations d'hydratation :	83
III.2.1.1	Les besoins hydriques chez l'adulte (population hors sportifs) :	83
III.2.1.2	Zoom sur les sportifs :	83
III.2.1.3	Stratégie d'hydratation :	87
III.2.1.4	Les différents types d'eau et récupération :	89
III.2.1.5	Recommandations en faveur de l'hydratation en récupération :	90
III.3	Massage et récupération :	91
III.3.1	Les techniques de massages :	91
III.3.1.1	1-1 massages manuels :	91
III.3.1.2	1-2 Massages mécaniques :	92
III.3.2	Effet des massages sur la récupération :	92
III.3.2.1	Effets des massages avant ou entre plusieurs exercices consécutifs :	92
III.3.2.2	Effets des massages après l'exercice :	93
III.3.2.3	Conseils à l'officine :	93
III.3.3	La cryothérapie :	95
III.3.3.1	La cryothérapie locale classique :	96
III.3.3.2	Cryothérapie gazeuse et cryothérapie a air froid :	97
III.3.3.3	CCE : Cryothérapie Corps Entier :	98
III.3.4	Thermothérapie :	99
III.3.4.1	Les contre-indications :	100
III.3.4.2	Conseils à l'officine :	100

III.3.5	La pressothérapie :	101
III.3.5.1	La contention :	102
III.3.5.2	La compression :	102
III.3.5.3	Conseils à l'officine :	108
III.3.6	L'aromathérapie :	110
III.3.6.1	Conseils à l'officine :	110
Conclusion	:	112

Introduction :

Depuis toujours, l'activité physique est présente dans la vie de l'être humain. Celle-ci est devenue une préoccupation quotidienne à l'ère du 21^{ème} siècle où l'Homme est exposé de plus en plus à des problèmes d'obésité due à une surconsommation et à une surindustrialisation de la société.

Actuellement synonyme de bien-être, l'importance du sport ne cesse de s'accroître dans notre société. Plusieurs stimuli sont en faveur du développement de l'activité physique que ce soit en professionnel ou en amateur tel : une politique de santé publique orientée en faveur d'une activité physique régulière par des publicités diffusées sur les chaînes de télévision ou sur internet, ou au niveau des entreprises via la médecine du travail afin de pousser les salariés à se préoccuper d'avantage de leur santé et ainsi pratiquer une activité physique régulière, mais aussi depuis l'avènement d'internet, l'apparition de plusieurs contenus dédiés au sport sur plusieurs plateformes différentes (YouTube, Instagram....)

La nutrition joue un rôle important dans le développement des aptitudes physiques, cependant le sportif de haut niveau ou amateur se heurte à une stagnation de ces performances. Dans ce cadre, le pharmacien d'officine peut pallier et jouer un rôle dans le conseil du sportif par la proposition de régimes alimentaires adéquats ou par les spécialités pharmaceutiques et/ou la supplémentation par des compléments alimentaires afin de permettre une optimisation des performances du sportifs.

Cependant, aucune activité physique n'est sans risque et le sportif peut être sujet à des baisses de performances ou à des blessures malgré une activité physique intense. Cela peut être lié à une intensification de l'activité et une mauvaise connaissance des processus de récupération. Dans ce cas, le pharmacien d'officine peut jouer un rôle grâce à ces connaissances afin de conseiller le sportif et ajuster ces programmes d'entraînements mais aussi par le conseil de certaines méthodes de récupération et de certaines spécialités pharmaceutiques (phytothérapie, poche de glace...) afin d'améliorer la récupération du sportif.

Dans cette thèse, nous allons aborder plusieurs facettes de la vie du sportif en passant par la nutrition et par les méthodes de récupération.

I. Rappels physiologiques et anatomiques

I.1 Les différents types de muscles :

Constitué de muscles, le système musculaire forme l'élément moteur du mouvement. Il assure la production de la force nécessaire au mouvement et au maintien postural. On distingue du point de vue morphologique et fonctionnel différents types de tissus musculaires (figure 1) :

Les muscles squelettiques :

Le muscle strié squelettique est par définition le muscle qui, par l'intermédiaire du tendon, se fixe au squelette et permet le mouvement de celui-ci dans une direction bien définie grâce à sa fonction essentielle de contraction. Il a été décrit, avec les premières observations au microscope optique sur du tissu en coupe longitudinale, comme étant un tissu présentant des striations à la fois transversales et longitudinales. Les fibres musculaires sont des cellules plurinucléées de forme polygonale dont les noyaux se situent en périphérie de la fibre, accolés à la membrane sarcoplasmique. Une fibre musculaire squelettique est un syncytium vrai c'est-à-dire un ensemble de protoplasmes ayant fusionnés entre eux. La fibre musculaire striée squelettique présente donc les caractéristiques fonctionnelles d'une cellule géante (1-5 cm de long, 10-100 μ m de diamètre).

Les muscles lisses :

Les muscles lisses sont présents dans la paroi de nombreux organes (tous les vaisseaux sanguins sauf les plus petits, intestins, utérus...). Ils forment des couches denses qui tapissent la paroi interne des vaisseaux et des organes creux et ne montrent pas de stries transversales. Ils sont constitués de cellules fusiformes mononucléées de taille variable (20 à 200 μ m) dont le noyau est en position centrale, ce sont les fibres musculaires lisses. Ces cellules sont soit isolées dans le tissu conjonctif, soit regroupées en tunique musculaire (vaisseaux, tube digestif) ou en muscles (muscle érecteur du poil). Généralement, les faisceaux des fibres lisses des tuniques musculaires sont organisés en deux couches superposées : une couche circulaire et une couche longitudinale. L'orientation de ces couches est définie par l'orientation des fibres musculaires lisses par rapport à l'axe de l'organe.

Les muscles mixtes :

Le muscle cardiaque et les muscles de l'ouïe. Ce sont des muscles striés, mais indépendants de l'influence de la volonté. Ils possèdent une activité motrice ininterrompue et automatique. Au repos, le muscle est responsable du quart de la dépense de fond de l'organisme. Celle-ci peut être multipliée par 15 ou 20 lors d'un exercice maximal.

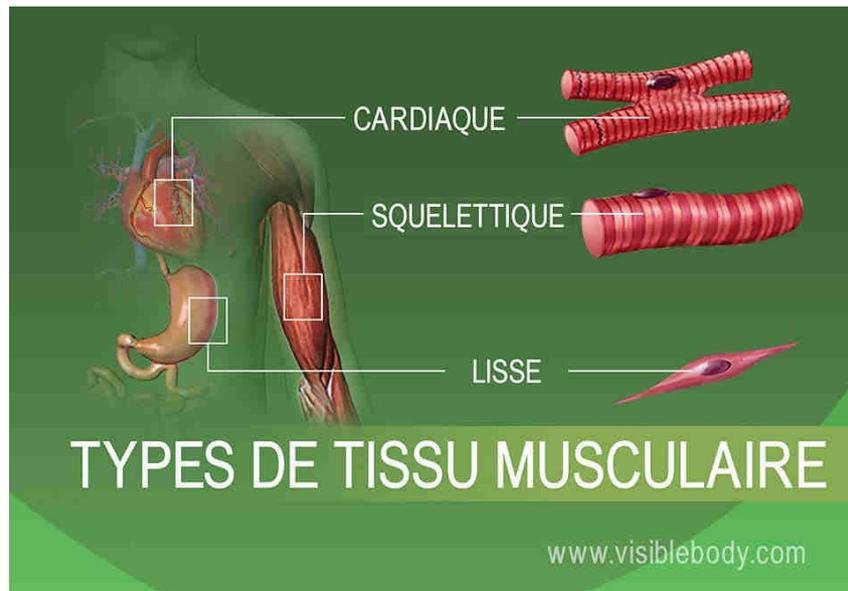


Figure 1: les différents types de muscle (D'après en ligne : <https://www.visiblebody.com/fr/learn/muscular/muscle-types>)

I.1.1 Fonctions principales des muscles :

Les muscles dans leur ensemble exercent quatre fonctions principales :

Premièrement, ils assurent la production des mouvements du corps et le déplacement des substances de l'organisme. En mobilisant le squelette, les muscles striés squelettiques permettent de marcher, de courir, de parler ou encore de manipuler les objets qui nous entourent. Ils sont également nécessaires à l'expression de nos sentiments ou de nos émotions, notamment grâce à la contraction des muscles faciaux qui permettent de donner des expressions au visage. De plus, ils ont un rôle dans le péristaltisme intestinal avec la propulsion de la nourriture, ainsi qu'au niveau des sphincters de l'estomac et de la vessie avec la présence des muscles circulaires.

Une seconde fonction est le maintien postural. Une contraction partielle soutenue des muscles, appelée tonus musculaire, assure le maintien de la position du corps. Certains

muscles participant au maintien de la posture sont les plus volumineux muscles de l'organisme : muscles des cuisses, du dos, du cou et des épaules, ainsi que les muscles abdominaux.

Enfin, ils participent à la génération de chaleur : les muscles génèrent la plus grande partie de la chaleur nécessaire au maintien de la température corporelle à 37 degrés ; la chaleur est un dérivé naturel du métabolisme de la cellule musculaire ; lors de l'exposition au froid, les muscles peuvent majorer leurs productions de chaleur par de petites contractions, le tremblement.

I.1.2 Caractéristiques fonctionnelles des muscles :

Le tissu musculaire strié squelettique est un tissu très particulier du corps humain, possédant des caractéristiques qui lui permettent d'exercer ses fonctions. Il est excitable, contractile, extensible et élastique.

- **L'excitabilité** : C'est la faculté de percevoir un stimulus et d'y répondre. En ce qui concerne les muscles squelettiques, le stimulus est de nature chimique : l'acétylcholine qui est libérée par la terminaison nerveuse motrice. La réponse de la fibre musculaire est la production et la propagation le long de sa membrane d'un courant électrique (potentiel d'action) qui est à l'origine de la contraction musculaire
- **La contractilité** : C'est la capacité de se contracter avec force en présence de la stimulation appropriée. Cette propriété est spécifique du tissu musculaire.
- **L'extensibilité** : C'est la faculté d'étirement. Si lorsque les fibres musculaires se contractent, elles raccourcissent, lorsqu'elles sont relâchées, on peut les étirer au-delà de la longueur de repos.
- **L'élasticité** : L'élasticité est une propriété physique du muscle. C'est la capacité qu'ont les fibres musculaires de s'étirer et de reprendre leur longueur de repos, après l'étirement. L'élasticité joue un rôle d'amortisseur lors de variations brutales de la contraction.
- **La plasticité** : Le muscle a la propriété de modifier sa structure selon le travail qu'il effectue. Selon le type d'entraînement (ou d'utilisation), le muscle s'adapte au type d'effort. Ainsi, on peut rendre un muscle plus résistant ou plus endurant. Chez les coureurs sprinters, il existe une prédominance de fibres musculaires de type « résistant » au niveau des membres inférieurs alors que chez les coureurs marathoniens, ce sont les fibres musculaires de type « endurant » qui prédominent.

I.2 Structure du muscle squelettique :

I.2.1 Structure macroscopique :

Le muscle strié squelettique montre une macroscopie simplifiée, deux parties le constituent :

Une partie centrale, ou le corps du muscle, constituée des fibres musculaires striées squelettiques et les extrémités qui correspondent aux tendons. Ces tendons permettent d'insérer ce muscle au squelette. Cependant tous les muscles ne possèdent pas deux extrémités tendineuses. L'orientation des fibres musculaires et la structure tendineuse permettent de différencier plusieurs types de muscles (figure 2) :

- Les muscles à **faisceaux parallèles** ou muscles fusiformes (exemple : le biceps brachial) : les fibres convergent vers le tendon parallèlement à son axe. Elles s'étendent sur toute la longueur du muscle. La force qu'elles exercent est orientée dans l'axe du tendon. Les tendons plats sont présents au niveau des deux extrémités et présentent des dimensions similaires. Ce type de muscle favorise la vitesse de contraction.
- Les **muscles à faisceaux convergents** (exemple : le grand pectoral) : les fibres musculaires partent de plusieurs points d'insertion et convergent pour rejoindre un seul tendon. L'orientation de la force produite par le muscle est la résultante de l'action de ses différents faisceaux. Si certains faisceaux se contractent de manière isolée, la direction de la force produite varie.
- Les **muscles à faisceaux pennés** (exemple : le vaste latéral) : se caractérisent par des fibres très courtes et un tendon qui s'étend sur toute la longueur du muscle. Elles s'insèrent sur les expansions du tendon et sont orientées obliquement par rapport à son axe. L'angle formé entre les faisceaux et le tendon est appelé angle de pennation. C'est dans cette direction que la force est exercée par les fibres. Cette architecture favorise le développement de la force musculaire et la production de mouvements variés.
- Les **muscles triangulaires** : faisceaux larges et étalés qui se regroupent en direction du fin tendon central, ces muscles présentent une forme triangulaire caractéristique.
- Les **muscles fusiformes** présentent des faisceaux quasiment parallèles qui se rejoignent sur des tendons plats.

- Les **muscles à faisceaux circulaires** (exemple : les muscles orbiculaires de la bouche) présentent des faisceaux circulaires dont les extrémités se joignent au niveau du tendon unique formant une boucle fermée.

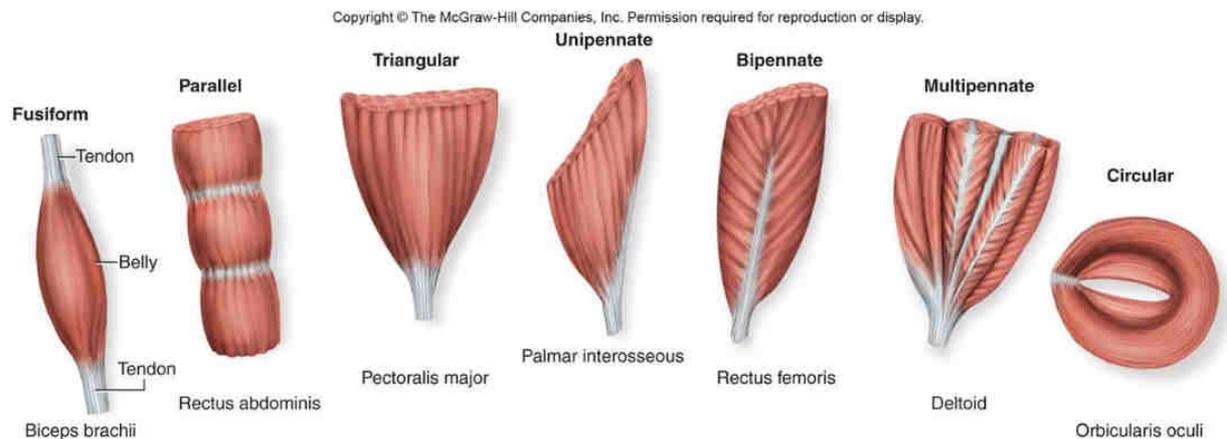


Figure 2 : classification des muscles selon l'organisation des fibres musculaires

I.2.2 Organisation générale du muscle :

Pour former un muscle entier, les fibres musculaires se disposent en faisceaux maintenus ensemble par du tissu conjonctif fibreux. La couche la plus profonde de ce tissu conjonctif est l'**endomysium**, qui entoure les fibres individuelles dans les faisceaux. Autour de chaque faisceau, on retrouve une couche de tissu conjonctif, appelé **périmysium**. L'ensemble du muscle est ensuite entouré d'une gaine de tissu conjonctif résistant, l'**épimysium**, qui forme la couche la plus interne du fascia profond, la gaine fibreuse résistante qui entoure un muscle. Tous ces tissus de soutien émergent pour former le **tendon**, une bande de tissu conjonctif qui ancre un muscle sur un os (figure 3).

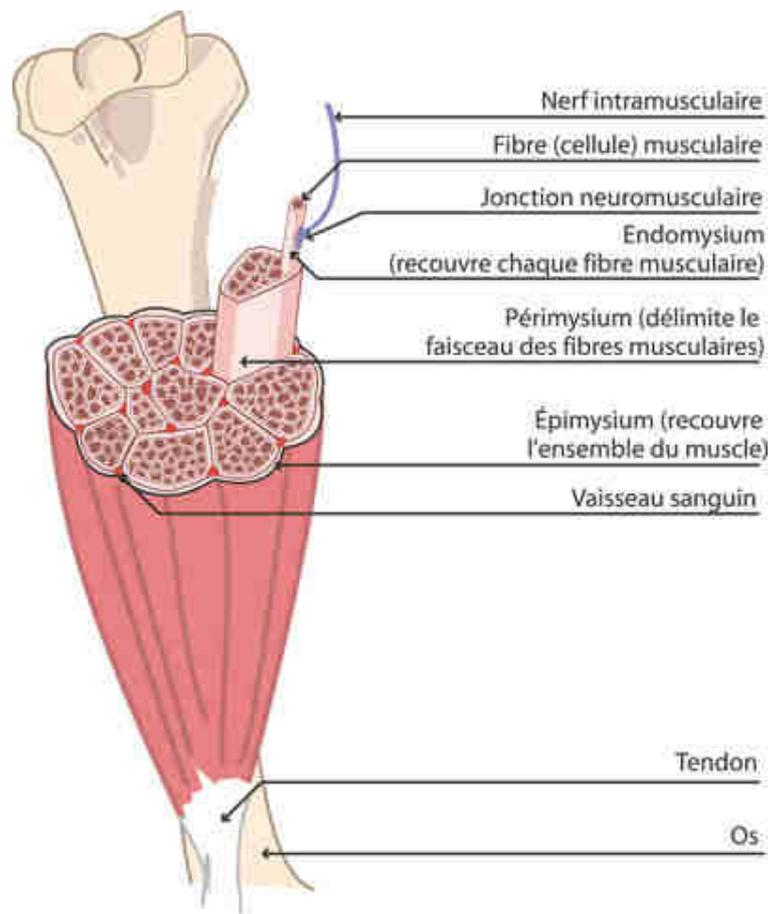


Figure 3 : organisation de l'enveloppe, attaches et vascularisation d'un muscle (D'après en ligne <http://ao.um5.ac.ma/xmlui/bitstream/handle/123456789/827/M0782009.pdf?sequence=1&isAllowed=y>)

I.2.3 Composition chimique

L'eau constitue 75 à 80 % de la masse des muscles. Elle est présente à l'intérieur de la cellule et dans le tissu interstitiel. Les protéines sont à classer en trois catégories et constituent 20% de la masse totale :

- La **myoglobine** : pigment rouge qui emmagasine de l'O₂
- La **myosine** : filament épais qui permet la contraction
- L'**actine** : filament fin qui permet également la contraction

Le tissu musculaire contient des éléments minéraux, des sels inorganiques, des phosphates, de l'urée, des enzymes de l'ordre de 5%.

I.2.4 Attaches du muscle :

La plupart des muscles recouvrent des articulations et s'attachent à des os.

Il existe deux attaches par muscle au minimum. On appelle « insertion » la fixation sur l'os mobile et « origine » la fixation sur l'os fixe ou le moins mobile. Les attaches peuvent être **indirectes**, les plus nombreuses, dans ce cas l'enveloppe de tissu conjonctif du muscle se joint à un tendon cylindrique ou à une aponévrose plate et large. Ou alors **directes**, l'épimysium du muscle est soudé au périoste de l'os ou au périchondre du cartilage.

I.2.5 Vascularisation des muscles :

Assurée par des artères et des veines, la vascularisation est essentielle au fonctionnement musculaire. Les artères fournissent au tissu musculaire les nutriments et l'oxygène nécessaires à son fonctionnement. Les veines suivent le chemin inverse de celui des artères. La circulation de retour débarrasse le muscle des déchets provenant du travail musculaire comme l'acide lactique ou le dioxyde de carbone.

L'accumulation de l'acide lactique nuit à la poursuite de l'effort musculaire. Les fibres musculaires sont entourées d'un réseau de capillaire à maille rectangulaire. Autour de chaque fibre en moyenne 4-6 capillaires sont présents.

Cependant la densité par mm² de ces capillaires varie avec le type de la fibre et par conséquent avec la taille et le métabolisme de la fibre. Cette densité est importante pour les fibres de petite taille à métabolisme aérobie c'est-à-dire pour les fibres à contraction lente. Elle diminue pour atteindre son minimum pour les fibres de grande taille à métabolisme anaérobie que sont les fibres à contraction rapide.

Habituellement, les vaisseaux sanguins et les neurofibres pénètrent le muscle en son milieu puis se divisent en de nombreuses branches dans le périmysium avant de rejoindre l'endomysium. Le massage et les exercices de type course favorisent le retour sanguin mais aussi le débit artériel qui peut être multiplié par 50. Des vaisseaux lymphatiques sont également présents dans les muscles. Ils suivent les artères et les veines puis rejoignent les nœuds lymphatiques profonds.

I.2.6 Innervation des muscles :

Le ventre du muscle est innervé de plusieurs manières différentes (figure 5) :

- **L'innervation motrice** : va conduire l'influx nerveux en direction des muscles afin qu'ils effectuent le mouvement commandé par le cerveau. Elle se fait au niveau de la fibre

musculaire par la plaque motrice, dont le neurotransmetteur est l'acétylcholine (Ach). L'unité motrice est constituée par un motoneurone, son axone, son arborisation terminale et plusieurs fibres musculaires. Le nombre de fibres musculaires branchées sur un motoneurone constitue le « taux d'innervation ». Pour les petits muscles de précision (exemple : les muscles moteurs de l'œil), il est de 1/10. Pour les muscles puissants (exemple : le muscle Triceps sural), il est de 1/1000. Les fibres musculaires qui composent une même unité motrice ne sont pas regroupées mais dispersées à différents endroits du muscle. Leur stimulation ne provoque donc qu'une faible contraction.

- **L'innervation sensitive** : est assurée par les fuseaux neuromusculaires, petites fibres musculaires spécialisées, réparties dans la masse du muscle. Équipées de terminaisons nerveuses sensibles, elles enregistrent les variations de longueur et de tonus du muscle. Elles se comportent comme des capteurs de tension ou des jauges d'extensomètre. Ces informations intrinsèques sur l'état physique du muscle utilisent les voies de la sensibilité proprioceptive inconsciente qui montent dans la moelle jusqu'au cervelet.

- **L'innervation vaso-motrice** : est destinée aux vaisseaux musculaires. Elle est réalisée par des fibres amyélinisées du système sympathique.

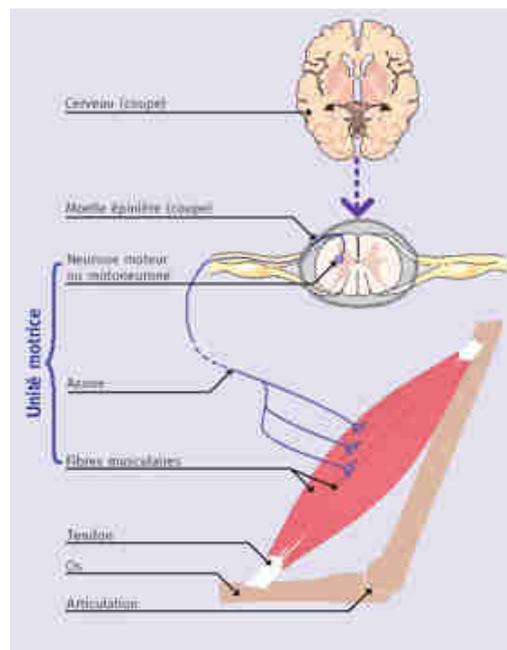


Figure 4 : innervation du muscle squelettique (D'après en ligne <http://tpe-protheses-jda.e-monsite.com/pages/protheses-bioniques/au-niveau-physique.html>)

I.3 Structure microscopique et types de fibres :

Le tissu musculaire est constitué par des cellules musculaires ou **myocytes**, cellules spécialisées dans la contraction, ce qui permet la locomotion ainsi que les mouvements volontaires et involontaires. Leur membrane est appelée **sarcolemme** et est entourée d'endomysium. La propriété contractile de ces cellules est en relation avec la présence dans le cytoplasme (= **sarcoplasme**) des myocytes de filaments protéiques contractiles, les **myofilaments** groupés en **myofibrilles**.

I.3.1 Sarcolemme :

Le sarcolemme est une membrane cytoplasmique de la cellule qui est très élastique et résistant. Il s'invagine de façon tubulaire dans le cytoplasme, formant des canaux étroits transverses : le système T. Interconnectés au plus près des myofibrilles, ils permettent de transmettre rapidement les impulsions nerveuses reçues par le sarcolemme. Ils constituent également une voie d'échange pour les substances entrant et quittant la fibre musculaire.

I.3.2 Sarcoplasme :

Le sarcoplasme est le cytoplasme de la cellule, il contient des protéines, dont la myoglobine, qui permet la fixation de l'oxygène. On retrouve également des minéraux, du glycogène (en quantité beaucoup plus importante que dans la plupart des autres cellules) et des gouttelettes de lipides baignant dans du liquide. Il renferme de nombreuses inclusions dont les myofibrilles. Les organites essentiels au bon fonctionnement de la cellule sont :

- Le **réticulum sarcoplasmique** : lieu de stockage du calcium, élément essentiel à la contraction. C'est un réticulum lisse disposé en tubules longitudinaux (ou système L) dont l'extrémité est dilatée en regard de la jonction disque A-disque I. Les tubules sont reliés les uns aux autres par des tubules transversaux en regard des stries Z. Le système T est un ensemble de canalicules transversaux qui sont des invaginations tubulaires de la membrane plasmique entourant les myofibrilles aux jonctions bande A- bande I. A ce niveau, le système T, associé aux extrémités dilatées du réticulum, forme les triades (figure 5). Cette entité structurelle et fonctionnelle permet à l'influx nerveux de se propager de la surface du tissu musculaire jusqu'aux myofibrilles.
- Les **mitochondries** : très nombreuses entre les myofibrilles et sous la membrane plasmique, elles sont parfois appelées sarcosomes. Elles assurent l'énergie nécessaire à la cellule.
- Les **appareils de Golgi** : ils sont peu développés.

- Le **glycogène** : relativement abondant, il apparaît sous la forme de particules dispersées dans les bandes de sarcoplasme.

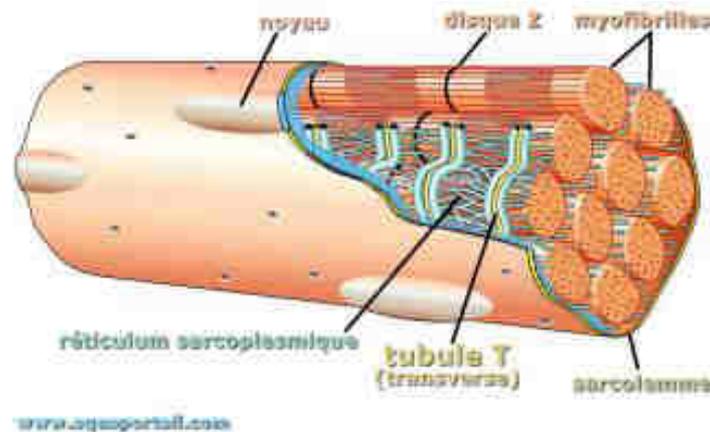


Figure 5 : organisation réticulum sarcoplasmique et système T autour des myofibrilles (D'après en ligne <https://www.aquaportail.com/definition-10726-tubule-transverse.html>)

I.3.3 Organisation des myofibrilles :

Ce sont les éléments contractiles de la cellule. Elles sont responsables de l'aspect strié du muscle. Chaque fibre ou cellule musculaire contient des centaines voire des milliers de myofibrilles. Ce sont des filaments de diamètre de 0,2 à 2 μm et de longueur équivalente à la fibre musculaire, divisées en sous-unités plus petites : les sarcomères.

Les myofibrilles sont constituées de deux types de microfilaments :

- les filaments fins qui contiennent de l'**actine**
- les filaments épais qui contiennent de la **myosine**

Ces deux protéines sont essentielles au fonctionnement de la contraction des sarcomères. On dénombre environ 3000 filaments d'actine et 1500 filaments de myosine dans chaque myofibrille.

- Des **filaments fins** : composés de l'enchaînement de plusieurs molécules d'actine globulaire. Deux chaînes de ce type sont torsadées pour former un filament d'actine (figure 6). Une des extrémités est fixée à la strie Z et l'autre s'étend au milieu du sarcomère entre les filaments de myosine. Sur ce filament sont fixées d'autres protéines. La tropomyosine, molécule filiforme, s'enroule autour du filament d'actine dans la rainure formée par les deux filaments d'actine. La troponine, quant à elle, vient se fixer tous les 40 nm, à la fois sur les filaments d'actine et de tropomyosine.

Elle est formée de trois sous-unités : la TN-T qui permet de se fixer à la tropomyosine, la TN-I qui inhibe la liaison actine-myosine au repos (inhibition levée lorsque TN-C est saturée en calcium) et la nébuline, localisée dans la bande I, grosse protéine qui permet de réguler la longueur du filament d'actine. C'est une actin-binding protein (ABP).

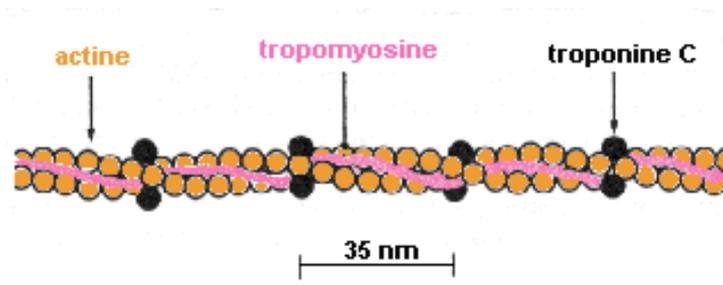


Figure 6: molécule d'actine (D'après en ligne <https://bio.m2osw.com/gcartable/biomoleculaire/actine.htm>)

- Des **filaments épais** : la myosine. Ils sont constitués par l'association de 200 à 300 molécules de myosine native. Un filament est composé de deux protéines entrelacées. Chaque molécule a un poids moléculaire d'environ 470 000 daltons et présente une longueur de 140 à 170 nm. Elles sont formées d'une extrémité globuleuse, la « tête de myosine », qui est le siège de l'activité ATPasique (ATP = adénosine triphosphate), et d'une partie cervicale qui s'articule avec une partie caudale. C'est la mobilité de la tête de myosine qui permet sa fixation à l'actine lors de la contraction musculaire (figure 7).

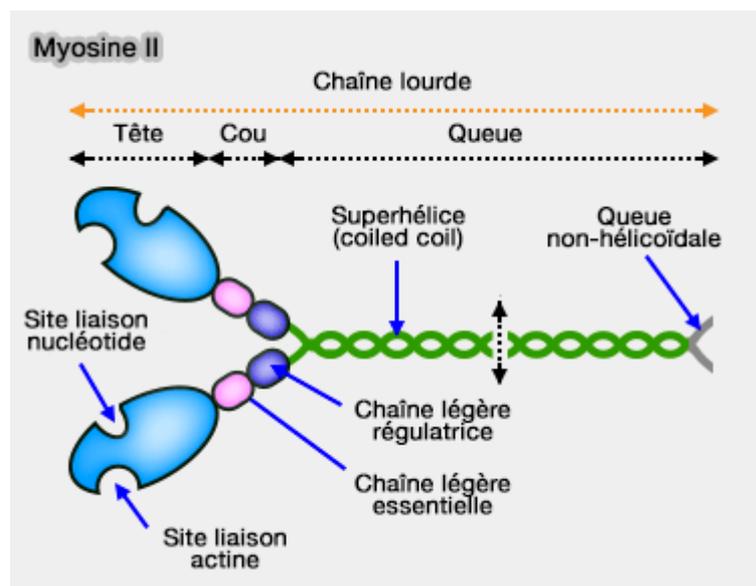


Figure 7: molécule de myosine, (D'après <http://vetopsy.fr/biologie-cellulaire/moteurs-moleculaires/myosine2-liaison-actine.php>)

Le fonctionnement du muscle squelettique dépend de l'alignement précis des myofilaments d'actine et de myosine dans la myofibrille. Ceci est permis grâce à des protéines accessoires qui lient entre eux les filaments et leur confèrent l'élasticité nécessaire leur permettant de retrouver leur forme initiale après la contraction.

Liée à la myosine, la titine (ou connectine) permet de stabiliser longitudinalement les filaments épais. Elle part de la strie Z et s'étend jusqu'à la ligne M. C'est une protéine élastique qui participe à l'assemblage du sarcomère et qui régule son élasticité.

Les protéines de transmission (titine et nébuline) permettent le transfert des forces mécaniques à l'ensemble des éléments du muscle ainsi que le maintien de la structure hélicoïdale. Il existe également la myoméline, qui fixe la myosine dans la région de la strie M, ou la desmine qui lie entre elles les myofibrilles et à la membrane plasmique, puis enfin la protéine C qui lie la myosine.

I.3.4 Sarcomère :

Chaque myofibrille est composée d'une chaîne d'unités contractiles répétitives : les sarcomères (figure 8). Un sarcomère est la plus petite unité de contraction du muscle. L'actine et la myosine en glissant l'une contre l'autre vont réduire la taille du sarcomère. On parle alors du « pont actine-myosine ».

Ces sarcomères sont constitués de bandes sombres ou bandes A alternée de bandes claires ou bande I. Chaque bande A est composée de deux zones de chevauchement des myofilaments et d'une zone H, légèrement plus claire qui la scinde en deux. Aux extrémités d'un sarcomère se situent les disques Z, ils constituent les limites du sarcomère, ils traversent chaque zone I.

Un sarcomère est donc formé d'une demi-bande I, suivie d'une bande A puis d'une autre demi-bande I. Le tout situé entre deux stries Z.

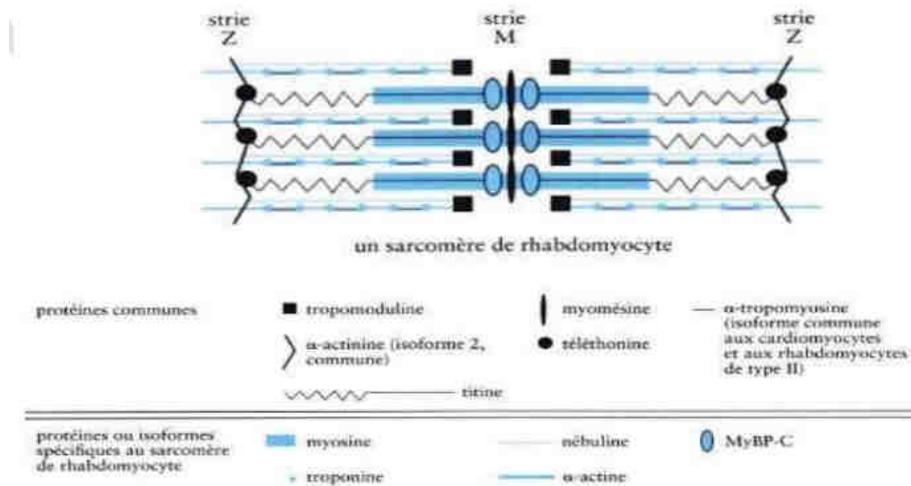


Figure 8 : structure d'un sarcomère (D'après en ligne <https://www.istockphoto.com/fr/vectorel/structures-du-muscle-avec-fibre-myofibrille-et-diagramme-de-contour-du-sarcom%C3%A8re-gm134>).

I.4 Mécanisme de la contraction musculaire :

I.4.1 Contraction d'une fibre musculaire squelettique lors de l'exercice :

La contraction correspond au glissement des filaments d'actine par rapport à ceux de myosine. Les deux stries Z se rapprochent alors des extrémités des disques sombres entraînant la disparition des disques clairs. La zone H n'est plus identifiable en raison de l'arrivée des filaments d'actine à son niveau lui donnant le même aspect que la bande A.

I.4.2 Stimulation motrice :

Une fibre musculaire se contracte lorsqu'elle est stimulée par une terminaison nerveuse. Un signal électrique se propage alors sur son sarcolemme.

Chaque fibre musculaire reçoit un filet nerveux qui commande ses contractions. Le contact entre la fibre nerveuse et la fibre musculaire s'effectue en une zone de la fibre musculaire qui s'appelle la plaque motrice

Les cellules des muscles squelettiques sont stimulées par des neurones moteurs dont les longs prolongements (les axones) venant de l'encéphale et de la moelle épinière se rendent, regroupés en nerfs, jusqu'aux muscles qu'ils desservent. A l'endroit où il pénètre dans le muscle, l'axone se ramifie en plusieurs terminaisons axonales dont chacune établit une terminaison neuromusculaire avec une seule fibre.

Quand le stimulus arrive au niveau du bouton synaptique, cela déclenche la sécrétion d'un neurotransmetteur, l'acétylcholine (ACh). Libérée dans la fente synaptique, elle se fixe alors

sur des récepteurs spécifiques présents sur le sarcolemme. Quand la quantité d'ACh est suffisante elle déclenche l'ouverture de canaux ioniques membranaires permettant l'entrée du sodium dans la cellule, entraînant alors une dépolarisation membranaire à l'origine du potentiel d'action (PA).

I.4.3 Théorie des filaments glissants d'Huxley :

La contraction musculaire se traduit par un raccourcissement des "fibres" musculaires qui est visible uniquement au niveau des bandes I alors que les disques sombres gardent une longueur constante. Lors de la contraction musculaire les myofilaments d'actine glissent entre les myofilaments de myosine. Ce mouvement est commandé par les têtes des molécules de myosine qui se lient puis se détachent de la molécule d'actine et "marchent" ainsi sur les filaments d'actine. Le déplacement de la myosine sur l'actine est possible grâce à l'hydrolyse de molécules d'ATP.

La régulation de la contraction musculaire est réalisée par les molécules associées à la molécule d'actine dont la tropomyosine qui au repos masque le site de la liaison actine – myosine. La libération de ce site est sous l'influence des ions Ca^{2+} (calcium) initialement contenus dans les citernes du réticulum sarcoplasmique. L'influx nerveux provoque une dépolarisation de la membrane plasmique qui s'étend le long des membranes du système T puis est transférée au réticulum par l'intermédiaire des triades. La dépolarisation du réticulum provoque la libération du Ca^{2+} qui active la contraction musculaire.

I.4.4 Le relâchement du muscle :

La contraction musculaire est provoquée par une augmentation de la concentration en calcium intracellulaire, le relâchement est donc obtenu par un retour à la concentration initiale.

L'augmentation de la concentration en calcium intracellulaire ne dure que quelques millisecondes. Le retour à la situation initiale est rapidement obtenu par l'action convergente de trois phénomènes :

- La fermeture rapide des canaux calciques
- La liaison du calcium sur différentes protéines (dont la troponine)
- Le pompage actif vers la lumière du réticulum sarcoplasmique par des ATPases calcium-dépendantes appelées SERCA.

On estime que le temps nécessaire pour ramener le taux de calcium intracellulaire à sa valeur de repos est de l'ordre de 30 ms. La concentration en calcium diminuant, on a dissociation du calcium lié à la troponine C, ceci entraînant le rétablissement de l'inhibition exercée par la troponine I sur la liaison actine-myosine. En conséquence, le muscle se relâche.

L4.5 ATP : au cœur de la contraction musculaire :

Chaque muscle est constitué de milliers de cellules de forme allongée, que l'on appelle fibres musculaires. Chaque fibre se compose elle-même constituée de filaments de protéines spécifiques (actine et myosine) : ces filaments coulissent entre eux pour contracter les fibres musculaires, donc le muscle.

La seule source d'énergie utilisable par le muscle pour se contracter est l'ATP.

L'ATP est un acide aminé chargé en énergie qui est capable de libérer cette énergie selon les besoins du muscle. Toutes les fibres musculaires contiennent une petite réserve d'ATP qui va permettre au muscle de se contracter très rapidement, notamment en cas d'effort rapide. Mais, pour se contracter, les muscles ont besoin d'une quantité importante d'énergie, et leurs réserves en ATP sont limitées : les stocks s'épuisent en seulement 2 ou 3 secondes. Une fois ces stocks épuisés et pour pouvoir poursuivre la contraction du muscle, l'organisme doit synthétiser de nouvelles molécules d'ATP : différents mécanismes vont être sollicités à tour de rôle :

1) Tout d'abord, l'ATP est synthétisée à partir de la créatine phosphate. La créatine phosphate est une molécule stockée dans les muscles qui permet aux muscles de synthétiser de l'ATP. Ce mécanisme permet de prolonger l'effort jusqu'à 15 secondes.

2) Ensuite, lorsque les stocks de créatine phosphate sont également épuisés, le muscle va synthétiser de l'ATP à partir du glycogène. Le glycogène est un glucide complexe stocké dans le foie et dans les muscles qui permet aux cellules de synthétiser de l'ATP. Ce deuxième mécanisme permet de prolonger encore l'effort jusqu'à 90 secondes maximum. Mais, sans oxygène, la synthèse d'ATP à partir du glycogène va entraîner la formation d'acide lactique, ce qui rend l'effort de plus en plus difficile.

Ces déchets métaboliques s'accumulent, ce qui entraîne une acidification du milieu cellulaire ; cette acidification entraîne à son tour une fatigue musculaire et une diminution de la performance (limitation de la force, de la puissance et de la prise de masse).

3) Pour poursuivre la contraction musculaire au-delà de 90 secondes, l'ATP devra être synthétisé en mode aérobie (c-à-d en présence d'oxygène) : l'effort ainsi obtenu est d'intensité plus faible mais il pourra durer plus longtemps.

Lors d'un effort bref et intense, tel que les exercices de construction et de développement musculaire réalisés en musculation ou en crossfit, le muscle va donc utiliser majoritairement les 2 premiers mécanismes de synthèse d'ATP, une fois ses réserves épuisées (figure 9).

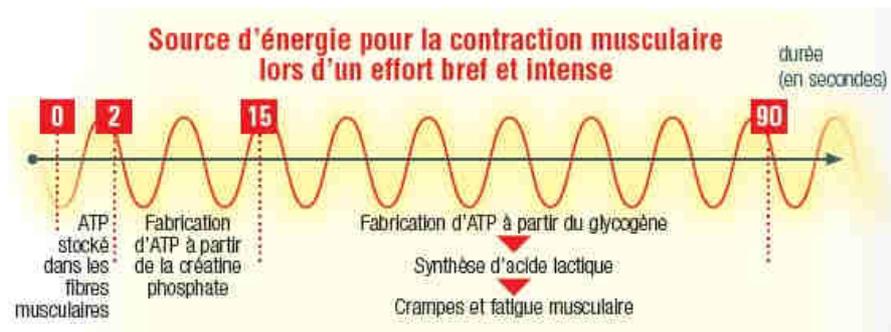


Figure 9 : source d'énergie pour la contraction musculaire lors d'un effort bref et intense (D'après en ligne : <https://www.stc-nutrition.fr/fr/dossiers/performances/atp-coeur-puissance-musculaire>)

I.5 Définition d'une filière énergétique :

Au cours de l'effort musculaire, le corps humain utilise de l'énergie à partir de 3 filières énergétiques différentes mais complémentaires. Les filières énergétiques dépendent du type d'effort sollicité.

Une filière énergétique correspond à une voie métabolique utilisant un ou plusieurs substrats afin de produire de l'énergie.

Selon l'intensité de l'activité physique, l'organisme n'utilisera pas les mêmes substrats énergétiques et ne produira pas de l'ATP (Adénosine Triphosphate) de la même manière. L'ATP est la principale source d'énergie directement utilisable par la cellule. Chez l'humain, l'ATP constitue la seule énergie utilisable par le muscle.

L'énergie est stockée dans les aliments sous forme de substrats :

- **Glucides**
- **Lipides**
- **Protéines**

- Dans une moindre mesure, en **créatine**. La créatine est une combinaison d'**acides aminés** que le corps produit naturellement, mais en quantité insuffisante. On trouve de la créatine par exemple dans la viande et le poisson.

La dégradation et la récupération de l'énergie se fait par **3 voies métaboliques** (ou filières énergétiques).

I.6 Les 3 filières énergétiques :

I.6.1 L'anaérobie alactique :

C'est la filière énergétique prépondérante lors d'efforts intensifs et brefs pour créer de l'énergie. Celle-ci utilise de la créatine phosphate (PCr) comme substrat. Sa capacité est faible (quelques secondes). Mais sa puissance est très importante.

I.6.2 L'anaérobie lactique :

C'est la filière énergétique prépondérante lors d'efforts courts (généralement entre 20 secondes et 1 minute 30), pour créer de l'énergie. Celle-ci utilise du glucose et du glycogène comme substrats. Sa capacité et sa puissance sont moyennes.

I.6.3 L'aérobie :

C'est la seule filière énergétique dont le processus métabolique utilise de l'oxygène. Celle-ci utilise tous les substrats (principalement glucides et lipides). Elle est prépondérante sur des efforts d'endurance. Sa capacité est gigantesque, mais sa puissance est relativement faible.

I.6.4 ATP et anaérobie alactique :

(Système ATP-PCr, pour ATP Phospho-Créatine)

C'est le système le plus simple. Le substrat utilisé est la **créatine** (que l'on trouve notamment dans les viandes et les poissons, mais qui est également produit par le corps en faible quantité)

La créatine s'associe à un Phosphate (Phospho-créatine) avant d'entrer en relation avec de l'ADP (Adénosine DiPhosphate, équivalent à de l'ATP mais avec 2 groupements phosphates au lieu de 3), pour créer de l'**ATP**.



Grâce à une enzyme, l'**ATPase**, un des phosphates est libérée. L'énergie est donc libérée elle aussi. Il reste donc l'**ADP** (Adénosine DiPhosphate). Cette ADP est conservée et doit

trouver une autre Phosphate pour redevenir une ATP et pouvoir à nouveau créer de l'énergie.
Une molécule de créatine donne une molécule d'ATP.

I.6.5 ATP et anaérobie lactique :

(Ou système glycolytique)

Ce système est plus complexe que le précédent car le processus nécessite davantage de réactions chimiques (figure 10).

Voici les principales :

Glucose / Glycogène => G6P => Acide pyruvique => Lactates

Nb : G6P = Glucose 6 Phosphate

Nb : on utilise aujourd'hui davantage le terme « lactates » que le terme « acide lactique ».

Ce changement de terminologie met notamment en avant qu'on ne considère plus aujourd'hui le lactate comme un simple déchet ou une toxine mais plutôt comme quelque chose de positif ayant un fort potentiel énergétique.

Les lactates sont en eux-mêmes une forme d'ATP :

- 1 molécule de **glucose** donne **2** molécules d'**ATP**
- 1 molécule de **glycogène** donne **3** molécules d'**ATP**

Comparativement à l'anaérobie alactique, le système prend ici plus de temps : 12 réactions chimiques au lieu d'une seule. Mais il permet de créer plus d'énergie (2 à 3 molécules d'ATP contre une seule)

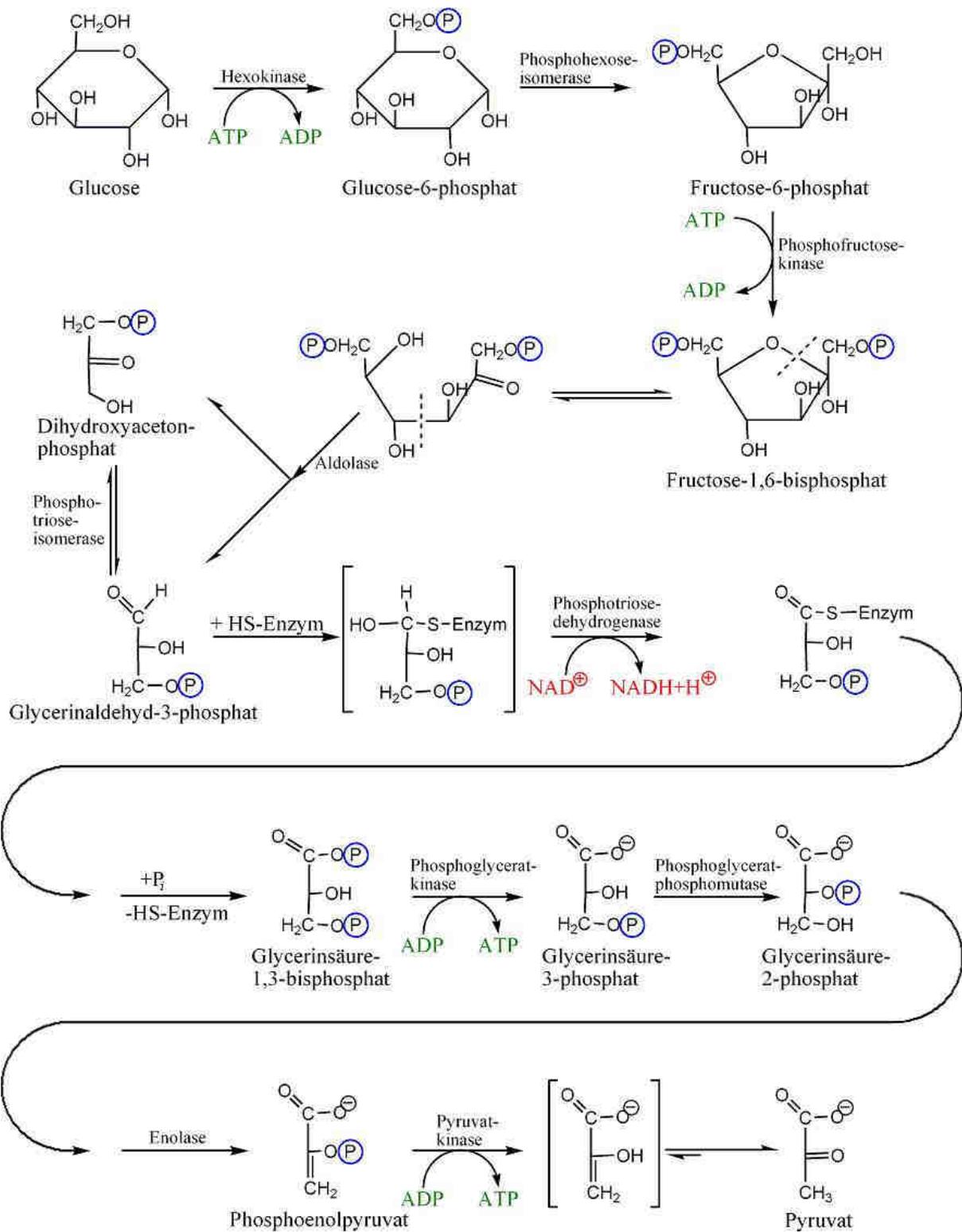


Figure 10 : glycolyse (D'après en ligne : <https://www.futura-sciences.com/sante/definitions/genetique-glycolyse-744/>)

L6.6 ATP et aérobie :

(ou système oxydatif)

Il s'agit également d'un système complexe (une dizaine de réactions chimiques sont nécessaires). Il est connu sous le nom du **cycle de Krebs**.

Définition : dans le système oxydatif, le cycle de Krebs est l'ensemble des réactions chimiques qui permet de créer de l'ATP

Tous les substrats peuvent être utilisés pour fournir de l'énergie, avec un apport d'oxygène.

Le processus ATP peut se faire via :

- L'oxydation des glucides (glycolyse) 1 molécule de glycogène = **39 ATP**
- L'oxydation des lipides (lipolyse) 1 molécule de triglycérides = **129 ATP**
- L'oxydation des protéines (néoglucogénèse)

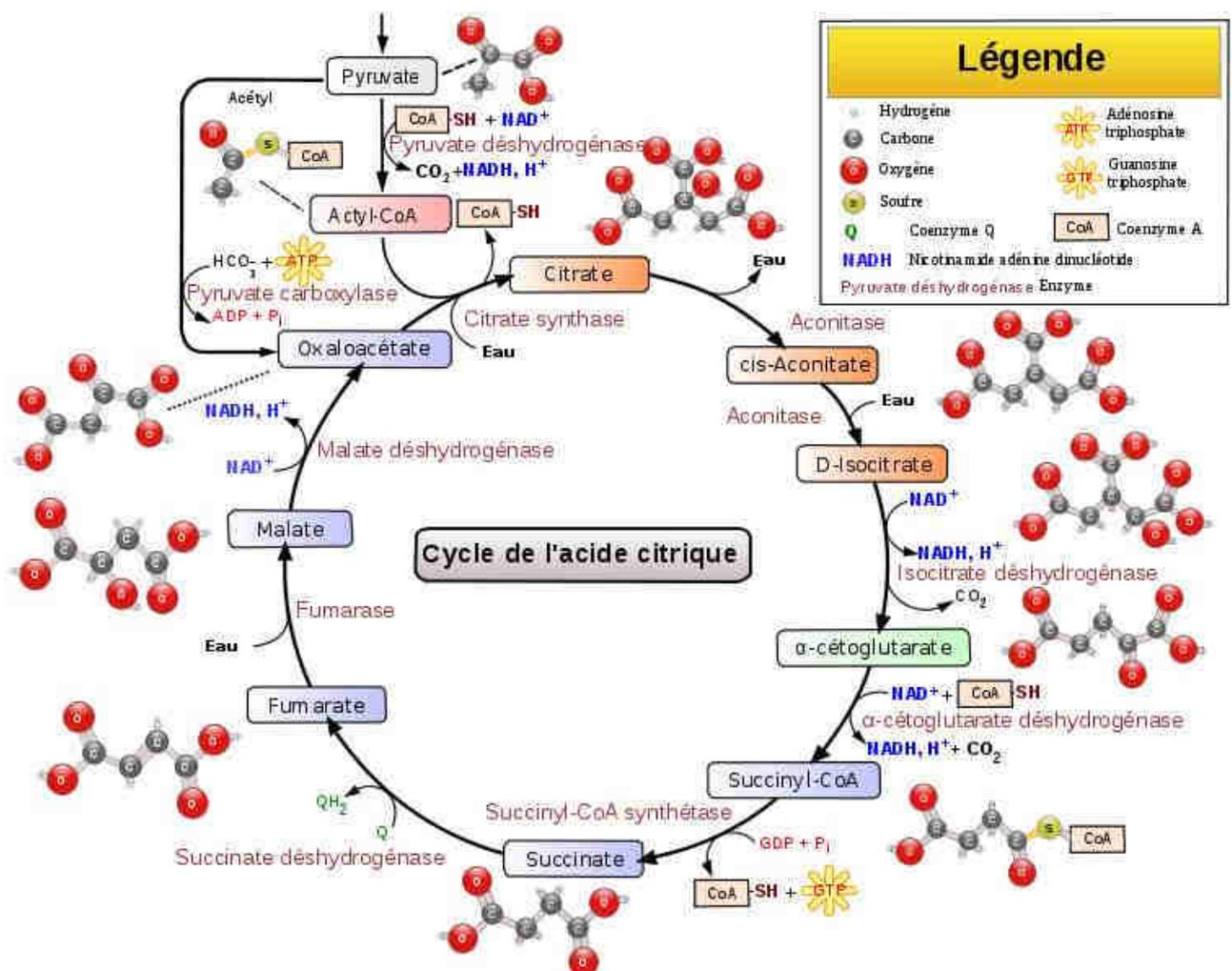


Figure 11 : cycle de Krebs (D'après en ligne : <https://www.futura-sciences.com/sante/definitions/biologie-cycle-krebs-696/>)

I.7 Qu'est-ce que l'activité physique ?

L'OMS définit l'activité physique comme tout mouvement corporel produit par les muscles squelettiques qui requiert une dépense d'énergie. L'activité physique désigne tous les mouvements que l'on effectue notamment dans le cadre des loisirs, sur le lieu de travail ou pour se déplacer d'un endroit à l'autre. Une activité physique d'intensité modérée ou soutenue a des effets bénéfiques sur la santé

La marche, le vélo, le cabre (wheeling), le sport en général, la détente active et le jeu sont autant de façons courantes de pratiquer une activité physique pouvant être appréciée de tous, quel que soit le niveau de chacun.

Il est prouvé qu'une activité physique régulière facilite la prévention et la prise en charge des maladies non transmissibles, telles que les maladies cardiaques, les accidents vasculaires cérébraux, le diabète et plusieurs cancers. Elle contribue également à prévenir l'hypertension, à maintenir un poids corporel sain et à améliorer la santé mentale, la qualité de vie et le bien-être.

a-Effort de vitesse :

Un effort de vitesse privilégie la filière énergétique anaérobie alactique. Son fonctionnement se fait sans oxygène et en l'absence de production de lactate. Dans son fonctionnement ce système va utiliser l'ATP et la phosphocréatine (substance qui permet de resynthétiser l'ATP) stockés dans les muscles et immédiatement disponible.

Ce système permet des efforts à haute intensité mais à courte durée (exemple du sprinteur en athlétisme). Malgré sa régénération rapide (environ 3 minutes), l'épuisement de la phosphocréatine est rapide ce qui induit une baisse de la vitesse de l'exercice. Il y a alors apparition de lactate et le passage vers la filière anaérobie lactique.

b-Exercices de force/résistance :

Un effort de résistance utilise prioritairement la filière énergétique anaérobie lactique. Alors qu'il ne reçoit pas encore assez d'oxygène le muscle va progressivement utiliser, comme substrat énergétique, le glycogène stocké localement dégradé partiellement en lactate.

Ce métabolisme est surtout utilisé pour les exercices intenses durant 15 secondes à 1 minute et 30 secondes (exemple du sprint en natation) ou lors d'accélération soutenues.

La production de lactate s'accompagne d'essoufflement : le seuil anaérobie est franchi. Le système a l'avantage d'être rapidement disponible mais possède l'inconvénient de consommer le glycogène du muscle et donc de conduire rapidement à l'épuisement. De plus, le lactate a une durée d'élimination longue (une heure ou plus).

L'utilisation de cette filière induit la production de produits non oxydés du métabolisme qui vont s'accumuler dans le sang et les tissus entraînant une diminution du pH sanguin et donc une acidité de plus en plus grande du milieu intérieur. Cette acidité va avoir pour conséquence une baisse des possibilités de contractions musculaires entraînant donc une baisse de la réalisation du travail sportif.

c-Exercices d'endurance :

Un effort d'endurance utilise prioritairement la filière énergétique aérobie. La respiration et la fréquence cardiaque s'accroissent en quelques dizaines de secondes pour permettre un transport accru d'O₂ aux muscles en exercice. Le glucose issu des muscles, du sang ou du foie est alors complètement oxydé en dioxyde de carbone et en eau avec libération d'un maximum d'énergie pour recharger l'ATP (exemple du basket-ball).

Quelques minutes après les lipides vont aussi être utilisés d'autant plus que l'exercice est moins intense et plus long et que le sujet est à jeun et ne consomme pas de glucides pendant l'exercice. **C'est la zone d'endurance.**

Certains facteurs limitent l'apport en oxygène aux cellules sollicitées pendant l'effort musculaire :

- Facteurs **pulmonaires** : avec la quantité maximale d'oxygène que peut contenir les poumons ainsi que la vitesse de passage et de fixation de l'oxygène sur l'hémoglobine.
- Facteurs **circulatoires** : avec l'amélioration de l'irrigation locale et les variations du débit sanguin.
- Facteurs **tissulaires** : avec la capacité maximale que possède une cellule musculaire à utiliser l'oxygène.

I.7.1 Le surentraînement :

Le surentraînement correspond à une accumulation de fatigue physique et psychologique qui entraîne une baisse, voire une chute des performances chez le sportif. Cet état peut s'accompagner de modifications du comportement (anxiété, stress, insomnie, etc.) et de douleurs articulaires et musculaires qui peuvent occasionner une blessure. Le surentraînement pourrait aussi nuire au cerveau d'après une récente étude de l'Inserm.

Le diagnostic est délicat : la fatigue fait partie intégrante de l'entraînement. La Société française de médecine de l'exercice et du sport (SFMES) a toutefois mis en place un questionnaire pour savoir si vous êtes concerné.

Cette « surchauffe » touche toutes les disciplines mais les sports d'endurance sont les plus concernés. Cyclisme, running, trail... nécessitent des volumes importants d'entraînement. 65% des coureurs de fond la connaîtraient d'ailleurs à un moment ou à un autre de leur carrière. Les sportifs de haut niveau ne sont pas les seuls à en souffrir, les amateurs peuvent également être touchés car ils sont moins suivis, voire pas du tout, et peuvent négliger leur récupération.

À noter. Le surentraînement se différencie du burn-out qui s'apparente, chez le sportif, à une dépression sévère associée à un dégoût de la pratique jusqu'à son arrêt. Ce phénomène a été mis en lumière récemment à travers les cas du footballeur Adil Rami et du tennisman Lucas Pouille.

I.7.2 Le « syndrome de surentraînement » :

C'est la forme la plus sévère de surentraînement. Cette dénomination est utilisée lorsque l'état de fatigue est chronique et qu'il dure plusieurs mois. « Une spirale sans fin » qu'a vécu le skieur de fond Candide Pralong, victime d'un syndrome extrême de surentraînement à l'automne 2018. Le Suisse a fait appel à un psychologue du sport et a dû faire une croix sur sa saison.

I.7.3 Les causes d'un surentraînement :

Des séances de course à pied rapprochées à la veille d'un marathon, la répétition de compétitions de haut niveau... Un volume d'entraînement en excès constitue le principal responsable du surentraînement. Souvent, celui-ci résulte aussi d'un mauvais équilibre entre charges d'entraînement et périodes de récupération, trop courtes, voire négligées.

Les muscles, hyper sollicités, ne peuvent plus produire d'effort, faute d'un repos suffisant pour refaire le plein d'énergie. Le surentraînement n'arrive pas d'un coup, il faut plusieurs semaines pour en ressentir les premiers symptômes.

À noter. L'intensité de l'entraînement n'est pas le seul en cause. La monotonie des séances, le surmenage, le stress, une mauvaise hygiène de vie, un régime alimentaire déséquilibré et un environnement inhabituel (chaleur, froid, humidité) peuvent contribuer au surentraînement.

I.7.4 Symptômes surentraînement :

Identifier le surentraînement s'avère compliqué. Bien connaître ses limites et savoir écouter son corps n'est pas chose facile, surtout quand on débute.

Au-delà d'une baisse marquée de vos performances sportives, plusieurs signes doivent vous alerter :

- Une perte de poids et un manque d'appétit ;
- Des difficultés à trouver le sommeil ;
- Des troubles de l'humeur (irritabilité, anxiété, stress, etc.) ;
- Une augmentation du rythme cardiaque et une tension artérielle élevée ;
- Des douleurs articulaires et musculaires fréquentes (crampes, tétanie) ;
- Des jambes plus lourdes que d'habitude ;
- Des infections ou inflammations récurrentes ;
- Une perte notable de motivation.

Il n'existe aucun traitement de ce syndrome autre que le **repos sur plusieurs mois** ainsi qu'une alimentation saine et équilibrée. Le repos total permet de réparer le système musculaire et articulaire, de rééquilibrer le métabolisme, de réduire le stress pour retrouver la motivation.

Le meilleur moyen de l'éviter est la prévention :

- Diversité des séances d'entraînement
- Augmentation progressivement les charges d'entraînement
- Hygiène de vie correcte

II. Nutrition

Introduction :

Les différentes contraintes physiologiques liées à l'exercice musculaire conduisent à une adaptation de l'organisme, contribuant à l'amélioration de l'aptitude et, donc, du niveau de performance. Ainsi, l'entraînement physique consiste à exposer l'organisme à des charges de travail supérieures aux sollicitations habituelles afin d'induire des améliorations notables des fonctions nécessaires à l'exécution de ces charges. Chez les athlètes de haut niveau soumis à des entraînements particulièrement intenses, la performance n'est pas aussi clairement reliée à la quantité d'entraînement. Les capacités d'adaptation d'un individu aux charges d'entraînement peuvent, en effet, avoir des limites.

De plus, chez les sportifs confirmés, le niveau de sollicitation peut être tel qu'un ensemble complexe de manifestations locales et centrales peuvent induire des baisses notables de performance dans les jours ou les semaines qui suivent une période d'entraînement intense. L'accumulation de charges trop importantes, avec des périodes de récupération insuffisantes, peut conduire à un état persistant de fatigue que seules plusieurs semaines d'arrêt pourront éliminer.

Dans ce cadre, les facteurs nutritionnels jouent un rôle primordial et l'une des règles fondamentales est de maintenir une adéquation entre les besoins en nutriments et les apports alimentaires. La restauration des constantes biologiques passe en effet par un équilibre qui doit être compris aussi bien pour l'apport calorique (équilibre quantitatif) que pour la nature des macro-et micronutriments (équilibre qualitatif).

La pratique sportive de haut niveau se traduit par une importante augmentation des besoins en énergie, et l'équilibre de la balance énergétique nécessite alors une augmentation des apports alimentaires.

L'adéquation de l'apport alimentaire aux dépenses énergétiques est un facteur clé de la récupération nutritionnelle. Différentes modifications métaboliques sont en effet constatées durant l'exercice : des pertes hydroélectrolytiques, des pertes protéiques (ces dernières étant dues à la possible dégradation des cellules musculaires), ainsi qu'une baisse des réserves en

glycogène et une mobilisation des réserves lipidiques, baisse due au besoin d'énergie nécessaire à l'effort en cas de poursuite de l'exercice sur des durées prolongées.

La phase de récupération devra donc permettre de compenser les pertes consécutives à l'effort physique fourni pendant l'entraînement et/ou la compétition, en adaptant l'alimentation à ces périodes avant, pendant et après l'effort.

Les objectifs de la récupération nutritionnelle sont propres à chaque athlète et à chaque charge d'entraînement, et semblent ainsi être déterminés par un ensemble de facteurs :

- Les modifications physiologiques et homéostatiques générées par l'entraînement, incluant :
 - L'étendue de la déplétion en substrats énergétiques (principalement le glycogène),
 - L'étendue de la déshydratation (c/chapitre précédent),
 - L'étendue des dommages musculaires ou du catabolisme protéique.
- Les buts associés à l'amélioration de la performance ou à l'adaptation aux sessions d'entraînement, incluant :
 - L'augmentation de la taille du muscle ou de la force musculaire,
 - La réduction du pourcentage de masse grasse,
 - L'augmentation des enzymes des protéines fonctionnelles ou de la fabrication des cellules ou tissus fonctionnels (par exemple globules rouges, capillaires...),
 - L'importance des substrats ingérés et du statut hydrique avant l'exercice suivant.
- La durée de la période séparant deux exercices, incluant :
 - Le temps de récupération total,
 - Les autres obligations ou besoins pendant la période de récupération (par exemple sommeil, voyage...).
 - La disponibilité des nutriments à ingérer pendant la période de récupération, incluant :
 - La disponibilité immédiate de la nourriture après l'entraînement,
 - L'appétit des athlètes et l'opportunité d'avoir des aliments et des boissons pendant la période de récupération.

II.1 Protéines et récupération :

II.1.1 Le métabolisme protéique et la récupération :

Pendant l'exercice physique, le muscle subit au niveau du métabolisme des protéines structurales d'importantes modifications qui doivent être corrigées dès la phase de récupération précoce. L'exercice physique prolongé est en effet susceptible d'induire des microlésions musculaires qui vont nécessiter, pendant la phase de récupération, d'engager des processus de réparation, lesquels impliquent d'augmenter les flux de synthèse protéique.

Par ailleurs, l'exercice lui-même est à l'origine d'une baisse des synthèses protéiques, suivie d'une augmentation dès l'arrêt de l'épreuve, ce qui impose des apports protéiques par voie alimentaire afin de faire face aux besoins. Il est clair que l'exercice physique affecte donc le métabolisme des protéines.

On distingue 2 types d'efforts physiques où les besoins protéiques sont différents et doivent être adaptés : cas du sportif d'endurance et cas du sportif de force.

II.1.1.1 Dans le cadre du sportif d'endurance :

La structure protéique du muscle est attaquée lors de l'effort et cela s'en ressent lors du repos (microlésions, réaction inflammatoires locales). Les acides aminés composent les protéines musculaires et sont consommés pour fournir de l'énergie. Un taux d'urée plasmatique élevé indique un catabolisme oxydatif des protéines, le taux est plus important avec un effort prolongé. Le taux d'urée éliminée est plus faible car l'élimination rénale diminue lors d'un effort, mais l'urée reste éliminée par voie sudorale. Les protéines et acides aminés musculaires représentent à 5 à 15% de la contribution énergétique de l'effort, ce pourcentage est croissant avec la durée de l'effort et selon les réserves hépatiques en glycogènes. Les apports protéiques représentent 12 à 16% des apports énergétiques totaux quotidien afin d'avoir une balance énergétique équilibré.

On observe à la fin d'un exercice, une élévation des marqueurs de dégradation des protéines contractiles (= la 3-méthyl-histidine), au niveau sanguin et urinaire. L'élévation indique une dégradation protéique, auquel s'ajoute les protéines sarcoplasmiques dégradées lors de l'effort. L'élévation des taux en protéines sarcoplasmiques (tel que la créatine kinase)

témoigne de la dégradation protéique. Ici, la dégradation est biochimique (radicaux libres oxydants) et mécanique (libération du contenu intracellulaire).

Phénomène visible dans les efforts à contraction excentrique (étirement, course en descente, ...). Les protéines dégradées demandent à être remplacées, auquel cas les performances physiques s'en retrouvent diminuées. La synthèse protéique est abaissée durant l'effort d'endurance, et augmente dès la fin de cet exercice physique, proportionnellement au taux d'insuline plasmatique. La protéosynthèse dure plusieurs jours après l'effort (en fonction des apports).

Le calcul du bilan azoté permet de déterminer les besoins protéiques de l'individu, c'est un témoin de la différence entre apports protéiques et l'élimination des substances azotées (= témoin de la dégradation protéique). Si un sédentaire commence une activité physique, le bilan azoté n'est plus à l'équilibre, il faut le compenser en augmentant les apports protéiques. De même au niveau de la qualité de l'effort, pour deux efforts de même durée, mais de pratiques différentes (course à pied vs cyclisme), les efforts excentriques endommagent davantage les muscles, déséquilibrant le bilan azoté. Ce bilan est à compenser en élevant les apports protéiques. De plus, en cas d'apport glucidiques insuffisant, l'équilibre azoté est plus difficile à équilibrer et induit des besoins d'apports protéiques supérieurs, cela entraîne une hausse du fonctionnement hépatique et rénal pour purger la production accrue d'urée. Tandis que pour un apport glucidique important, les besoins protéiques ne changent pas.

L'objectif est d'avoir un équilibre entre entrées et sorties de protéines. On prend en compte les variations métaboliques interindividuelles, la biodisponibilité des aliments et de l'état de transformation des aliments dans notre calcul.

On estime que pour des sportifs de loisirs, ou pratiquant l'activité régulièrement (3 fois une demi-heure par semaine), à une intensité modérée, les apports nutritionnels conseillés sont les mêmes que pour la population générale :

Soit environ $0,8\text{g.kg.j}^{-1}$ pour un jeune adulte de sexe masculin ou féminin. Cela pour des protéines de qualité (œuf, lait, viande, poisson).

- Pour un début d'activité physique, les apports sont accrus au début de la pratique : durant les deux premières semaines, les besoins sont $1,5\text{g.kg.j}^{-1}$.

- Pour des sportifs de niveau plus élevé, pratiquant la course de longue distance et suivant un entraînement quotidien, les apports à avoir sont 1,5 à 1,7 fois plus importants que les

apports de la population générale, pouvant atteindre 2 fois les apports en période d'entraînement important.

Une consommation quotidienne d'aliments sources de protéines de haute valeur biologique est obligatoire chez le sportif d'endurance.

- **Viandes, poissons, œufs** : 2 portions (80 à 150g/portion) par jour au minimum pour le sportif d'endurance (1 à 2 pour le sédentaire) C'est une source principale de protéines (20-30g de protéines pour 100g d'aliment) et de fer héminique (le plus assimilable pour l'organisme : il est absorbé à 25%), de vitamine B12...

- **Lait et produits laitiers** : 3 à 4 portions de bonne qualité : lait ½ écrémé, yaourt nature, yaourt enrichi en protéine, fromage blanc à 20%MG ou fromage.

II.1.1.2 Dans le cadre du sportif de force :

Les sportifs de cette catégorie cherchent à développer leur masse musculaire et/ou leur force, en rendant le bilan azoté positif : les apports protéiques sont alors très importants. A la fin d'un entraînement de force, l'élimination protéique est augmentée, en témoigne la concentration élevée de 3-méthyl-histidine. Une activation de la synthèse protéique a lieu pour générer la prise de masse musculaire. La quantité d'entraînement doit être nécessaire, ainsi que les apports protéiques suffisant. Les apports en glucides et en eau sont à prendre en compte pour la synthèse protéique.

Les apports en lipides peuvent être réduits pour équilibrer le bilan énergétique, à un niveau de 15% des apports énergétiques totaux, en contrepartie, les apports protéiques représentent de 20 à 40% des apports énergétiques totaux (AET). Un sportif de force a besoin « d'apports de sécurité » afin d'équilibrer son bilan azoté afin de maintenir sa masse. Ces apports sont équivalents à 1,5g.kg. j-1 .

Quand on regarde une personne qui cherche à développer sa masse musculaire, la balance azotée doit pencher du côté des apports, pour cela il consomme 2 à 3 g de protéines par kilo par jour. Cette démarche nécessite un contrôle médical impératif afin de s'assurer de la non-toxicité du processus. Ce processus ne doit cependant pas excéder 6 mois par an.

Il est nécessaire qu'au minimum 66% des apports soient assurés par l'alimentation quotidienne, il est possible de compléter avec des mélanges (hydrolysats protéiques, etc ...), sans oublier les autres nutriments dans les apports (glucides, eau et micro-nutriments). Il est

risqué de dépasser 3,5g.kg. Jour d'apport protéique, du fait de l'élévation de l'élimination rénale azotée et calcique.

II.1.2 Les acides aminés :

Dans la situation d'un effort aérobie long, couplé à des apports glucidiques faibles, les acides aminés ramifiés sont dégradés. On estime nécessaire d'apporter 30mg.kg.j-1 de leucine afin de préserver l'intégrité (pour un entraînement régulier), atteignant 45mg.kg.jour pour les apports de sécurité d'un sportif de force. Cet acide aminé représente 5 à 10% des constituants protéiques. Pour répondre à ces besoins protéiques, une alimentation respectant les ANC suffit. Chaque acide aminé nécessite des besoins minimaux, l'objectif est d'apporter des 91 protéines assurant un apport de toutes des acides aminés essentielles, l'aliment présentant la meilleur « protéine idéale » est le blanc d'œuf, devant la viande et les laitages.

Il est possible de faire une supplémentation en acides aminés à chaîne ramifiée (AACR) dans le cadre d'effort prolongé. Cette supplémentation permet de lutter contre la baisse de la teneur plasmatique en AACR. Elles entraînent un retard dans l'apparition de la fatigue : une supplémentation n'est alors pas recommandée, car la fatigue est un signal d'alarme de l'organisme. De plus on observe une élévation de l'ammoniémie, délétère pour le corps. Un autre acide aminé, dégradé lors de l'effort, est primordial pour le bon fonctionnement de la machinerie biologique : la glutamine, ayant une importance dans la défense immunitaire. Dans le cadre d'efforts répétés, les taux de glutamine s'avèrent diminués, et le risque infectieux augmenté, cela est évitable par des apports alimentaires équilibrés journaliers, la supplémentation est possible si l'alimentation ne suffit pas.

II.1.3 Les compléments alimentaires :

En nutrition sportive, les compléments alimentaires constituent un appoint pour les sportifs de haut niveau comme pour les sportifs de niveau modeste qui s'entraînent régulièrement dans le but de se maintenir en forme. On doit les utiliser de manière raisonnée et sur une période courte de 15 jours à 3 semaines maximum. Le recours à des compléments doit toujours être réfléchi et justifié en fonction des charges d'entraînement, de carences éventuelles, de la forme physique de l'athlète.

II.1.4 La glutamine :

Acide aminé le plus abondant de l'organisme. Une activité physique intense va épuiser le stock de glutamine plus vite que sa régénération, ce qui peut conduire à une destruction de

cellules musculaires. De plus, une supplémentation en glutamine peut diminuer un état de faiblesse du système immunitaire face aux infections post entraînement.

Exemples : Vectidyn® du laboratoire Nutergia (figure 12) ou encore Pure L-Glutamine® du laboratoire Eafit (figure 13).



Figure 12 : Vectidyn® du laboratoire Nutergia



Figure 13 : Pure LGlutamine® du laboratoire Eafit

II.1.5 Les BCAA (Branched Chain Amino Acids) :

Ce sont des acides aminés avec des chaînes ramifiées dans leur structure qui font partie des acides aminés dits essentiels dans notre organisme. Ils présentent un certain intérêt en nutrition sportive car ce sont les premiers acides aminés dégradés lors d'un effort sportif. Une supplémentation peut donc être conseillée pour diminuer la dégradation des protéines dans les muscles squelettiques. Ils sont aussi reconnus pour leur action sur la diminution de la production d'acide lactique et ainsi favorisent aussi l'augmentation de l'endurance et la récupération

Exemples : BCAA® du laboratoire Eric Favre (figure 14) ou encore BCAA® du laboratoire Eafit (figure 15)

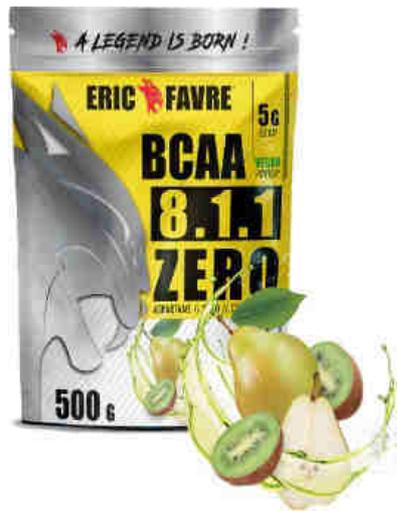


Figure 14 : BCAA® du laboratoire Eric Favre



Figure 15 : BCAA® du laboratoire Eafit

II.2 Glucides et récupération :

Les glucides représentent, avec les lipides, l'une des deux principales sources d'énergie nécessaire permettant d'assurer la contraction musculaire. Le substrat glucidique utilisable par le muscle au cours de la contraction est le glucose.

Rappelons d'ailleurs que les acides aminés ne représentent, dans les conditions les plus favorables à leur oxydation, qu'au maximum 8-10 % des besoins en énergie. Les acides gras constituent à l'évidence la classe de substrats la plus « intéressante » à étudier au cours des exercices de longue durée, car susceptibles de participer à l'amélioration des performances.

Mais parce que leur utilisation reste limitée, les glucides (ou hydrates de carbone) sont de fait les substrats essentiels.

II.2.1 Réserves en glucides et contribution à l'exercice :

Les réserves des glucides de l'organisme étant très réduites, leur faible disponibilité représente l'un des facteurs limitants de l'exercice de très longue durée.

Ces réserves se composent essentiellement du glycogène musculaire (400 mg pour un homme de 80 kg), hépatique (100 mg), ce qui représente un total d'approximativement 500 mg (8000 kJ).

À l'inverse, les réserves en lipides sont très importantes, représentant potentiellement 440 000 kJ : elles permettraient en théorie à un homme de courir pendant 120 h sans s'arrêter, avant que ces réserves ne soient épuisées.

Des études maintenant anciennes ont parfaitement montré que les contributions du glucose et des acides gras comme substrats énergétiques à l'exercice varient selon l'intensité de

l'exercice, sa durée et la nature de l'apport énergétique dans les jours qui précèdent (voir revue de Jeukendrup *et al.* 1998).

C'est ainsi qu'au-dessus de 80-90 % de la consommation maximale d'oxygène ($\dot{V}O_2\text{max}$) le glucose représente le substrat énergétique majeur, alors que plus l'exercice se prolonge, plus la part prise par les lipides dans la fourniture d'énergie augmente.

C'est pourquoi, au-delà d'une certaine intensité d'exercice, le glucose devient le substrat énergétique essentiel. Puisque les réserves en glycogène sont quantitativement limitées, la disponibilité en glucose représente bien un facteur déterminant de la performance.

Des concentrations musculaires adéquates en glycogène sont requises, non seulement pour la réussite sportive au cours d'exercices intenses et/ou de longue durée, mais aussi pour une bonne récupération à l'entraînement.

La présence de glycogène dans les muscles et le foie (le glycogène fournissant l'essentiel du glucose au reste de l'organisme) étant l'un des déterminants des performances, la qualité de la resynthèse de glycogène au cours de la récupération d'exercices intenses prend une importance toute particulière.

Quoiqu'il en soit, la gestion de la réplétion des réserves en glycogène demeure une vraie question de pratique sportive.

II.2.2 Index glycémique pour le sportif :

La vitesse de digestion, d'absorption et d'arrivée dans le sang du glucose contenue dans les aliments varie d'un aliment à l'autre et selon le contexte dans lequel il est ingéré.

Cette vitesse est évaluée par l'indice ou l'index glycémique (IG) de l'aliment. La référence est le **glucose**, pour lequel l'IG est fixé à 100. On distingue les aliments à IG bas (inférieur à 55), qui arrivent lentement et graduellement dans le sang, et les aliments à IG élevé (supérieur à 70), les autres ayant un IG moyen. Il s'agit d'indice indicatif.

En effet, la vitesse d'absorption du glucose au niveau de l'intestin varie d'une personne à l'autre. Elle peut dépendre par exemple de la qualité de la flore intestinale présente à ce moment-là.

Une précision importante, l'IG indique la rapidité d'absorption du glucose et non pas la quantité de glucose absorbée. On peut donc absorber une quantité importante de glucose, même si l'aliment à un IG bas et inversement.

II.2.3 L'impact de l'index glycémique sur la constitution de réserve en glycogène :

Lorsque le glucose arrive dans la circulation sanguine, il déclenche au niveau du pancréas une libération d'insuline. L'insuline favorise le stockage du glucose dans les muscles et dans le foie ainsi que sa transformation en acide gras.

Cependant, si l'arrivée du glucose dans le sang est trop rapide, les muscles et le foie n'ont pas le temps de capter et ainsi stocker le glucose, il est alors transformé en acides gras. D'où l'intérêt pour le sportif de veiller à l'IG des aliments ingérés et ainsi favoriser les aliments à indice glycémique bas.

II.2.4 Spécificités de l'exercice et conséquences sur la resynthèse en glycogène :

La vitesse de resynthèse du glycogène musculaire varie en fonction du type d'exercice. À l'issue des exercices intenses et de courte durée, la resynthèse de glycogène mesurée dans des conditions standardisées, en dehors de toute stratégie nutritionnelle, est plus importante qu'à l'issue d'exercices épuisants très prolongés (Pascoe et Gladden 1996).

II.2.5 Rôle des glucides :

L'essentiel des besoins énergétiques est assuré par les glucides (hydrates de carbone) et les lipides. Dans la catégorie des glucides, le glucose joue un rôle prépondérant, car il est immédiatement disponible.

Il est véhiculé par le sang et son catabolisme alimente les cellules en énergie. Toutes les cellules utilisent donc le glucose sanguin. Par exemple, il couvre la moitié des besoins en énergie du système nerveux central, le reste provenant de la dégradation des corps cétoniques.

Les réserves en glucose de l'organisme sont toutefois très faibles (25 g), ce qui impose au corps humain d'importer de façon permanente de nouvelles molécules de glucose, par l'alimentation.

Lorsqu'ils ne sont pas utilisés pour renouveler le stock de glycogène des différents tissus, les glucides alimentaires excédentaires sont convertis en lipides dans le foie et dans les adipocytes.

Le glucose représente à lui seul 80 à 90 % de l'énergie fournie par les glucides. En condition aérobie, l'oxydation complète d'une mole de glucose mène à la formation de 38 moles d'adénosine triphosphate (ATP). Au repos, en période post-prandiale, l'absorption du glucose est discontinuée.

Pour 100 g absorbés au cours d'un repas, on estime à 60 g la part oxydée dans les 3 heures suivantes. Ce glucose utilisé permet une épargne relative des lipides. Le stockage du glucose a un coût de 5 % pour sa mise en réserve.

II.2.5.1 Les glucides provenant de l'alimentation :

L'objectif est de recharger les stocks en glycogène musculaire et hépatique rapidement, tout en réduisant le stockage sous forme d'acide gras, éviter la phase d'hypoglycémie ainsi que de prévenir les troubles digestifs éventuels dus à l'ingestion de certains glucides.

Les réserves glucidiques sont régénérées proportionnellement à la quantité de glucides apportée. En dessous de 250g de glucides, les réserves ne sont pas comblées, les apports sont orientés vers les organes qui en ont impérativement besoin, tel que le cerveau.

Pour une quantité de 250 à 500g par jour, le taux de remplissage des réserves glucidiques augmente de façon croissante. Au-delà de 600g, les réserves sont intégralement reformées. Les glucides en excès sont oxydés ou stockés sous forme lipidique au sein des muscles. Toutefois, s'il n'y a pas d'effort physique, le stockage répétitif de glucides conduit à l'obésité. Pour un sportif ayant un entraînement quotidien de 2h et une alimentation constituée à 40% de glucides, la régénération des réserves glucidiques est faible et la fatigue est de plus en plus précoce lors de l'effort. Si les glucides montent à 70% des apports énergétiques journaliers, le niveau d'entraînement est maintenu, sans développer de fatigue lors des séances.

On prête attention au moment de prise lors de la consommation de glucides, ainsi que la qualité de ces glucides : cela débouche sur le principe d'index glycémique. Dans le cadre d'une prise de glucides après une nuit de jeûne et une activité physique une heure après l'alimentation, la réponse glycémique est élevée ainsi que la réponse insulinique, augmentant le risque d'hypoglycémie et de malaise. En revanche, pour une prise glucidique régulière dans les heures en amont de l'effort, le phénomène d'hypoglycémie est moindre. La proportion d'aliments à glucides complexes et IG faible à modéré est élevée quand on est plusieurs heures avant l'effort, cela représentant 50 à 70% des apports énergétiques nécessaire. Lorsque l'épreuve physique s'approche, ou même durant l'épreuve, les glucides simples à index glycémique important sont les plus intéressants, représentant alors 70 à 90% des AETQ (Apport Énergétique Quotidien) : les apports glucidiques doivent donc être de 5 à 12g.kg⁻¹ selon l'effort physique et son intensité de prévu.

On peut distinguer plusieurs étapes où les apports glucidiques varient et doivent être adaptés.

II.2.6 Préparation physique avant une échéance sportive :

Certains régimes présentent un fort intérêt. Le régime dissocié « scandinave », réservé au sportif de haut niveau, a pour but de générer des réserves en glycogène importantes. Son déroulement est rapide, après une séance d'entraînement très énergivore, le régime a lieu pendant la semaine suivante : les trois premiers jours sont représentés par un régime hyperlipidoprotidique (soit 80% des AETQ), tout en maintenant un entraînement léger, s'en suit trois jours de régime hyperglucidique (soit 70% de glucides, majoritairement complexe à index glycémique bas). Ce régime est destiné uniquement aux sportifs, avec un suivi médical, du fait des troubles induits par la première phase : acidocétose et déficit glucidique.

La solution est le régime dissocié modifié où les trois premiers jours comportent un régime normoglucidique (40 à 50 % de glucides). Les deux régimes présentent des résultats similaires, le deuxième est plus intéressant du fait de ses effets indésirables moins importants.

II.2.6.1 En amont de l'effort :

Il est conseillé d'avoir un apport glucidique important, via un plat riche en glucides à IG faible ou modéré, afin de combler les réserves en glycogène. Cet apport doit être proportionnel à l'épreuve à venir, que ce soit l'intensité ou la durée : en général, il est nécessaire de consommer 150 à 500g de glucides (poids sec). Une alternative est possible, si le sujet préfère consommer des glucides à index glycémique élevé, il peut faire plusieurs repas répartis toutes les trois heures en amont du rendez-vous sportif, avec un dernier repas trois heures avant l'effort, afin d'avoir des réserves glucidiques complètes. Ensuite, il y a les « rations d'attente » toutes les heures, composées de glucides à index glycémique élevé et de glucides simples, permettant de maintenir un taux d'insuline constant, sans excès et de ne pas déboucher sur une hypoglycémie. Cela permet la conservation des réserves hépatiques intactes.

II.2.6.2 Quelques minutes avant l'effort :

La dernière étape avant l'effort est une boisson glucosée, une dizaine de minute avant le départ, assurant une hydratation optimale, ainsi qu'un apport de glucose maintenant les réserves hépatiques intactes. L'échauffement avant l'exercice met en marche la machinerie musculaire, activant les transporteurs du glucose, consommant les glucides apportés juste avant l'effort en priorité (avant que le taux d'insuline augmente). Les cas d'hypoglycémie précoce lors de l'effort sont causés par une erreur dans le protocole cité précédemment (délai entre les prises inadapté, portions inadaptées, ...) ou pour des sujets plus sensibles à

l'insuline, l'alternative est une boisson au fructose de 30g.L-1 (le fructose est moins insulinosécréteur).

II.2.6.3 Au moment de l'exercice :

L'idéal est de consommer des substrats énergétiques sans toucher aux réserves énergétiques immédiatement ainsi que de protéger l'intégrité musculaire du sportif (en économisant les acides aminés), tout en pensant également à l'hydratation de l'individu. Avec la collation prise avant/pendant l'effort, l'apport de glucides épargne les réserves glucidiques musculaires et hépatiques. Dans le cadre d'épreuves prolongées, à intensité importante, et dans des conditions météorologiques chaudes, la prise de boisson et l'apport d'eau est impératif afin de pouvoir performer, ainsi que de réduire le risque de blessure.

Pour que les apports en eau soient optimaux, il faut prendre en compte plusieurs conditions, que sont : la préhension manuelle, c'est-à-dire boire une boisson agréable à boire, ceci en amont de la sensation de soif (car celle-ci est tardive à apparaître). Il est important de boire régulièrement et avant l'arrivée de la soif, car une fois celle-ci arrivée, cela indique la fatigue et un essoufflement, ce qui réduit la prise d'eau. De plus, l'acceptabilité de la boisson est importante, une boisson ayant des propriétés organoleptiques non attirantes peut répugner l'athlète à la boire, et conduit à l'état de déshydratation causé par les pertes hydriques sudorales et expiratoires. L'autre facteur est le temps de vidange gastrique, car la biodisponibilité de tous les éléments apportés en dépend, cette vitesse de vidange dépend du type de glucide, l'osmolarité, la quantité de boisson consommée, la densité énergétique contenue, la présence d'électrolytes et de particule, la température de la boisson, le degré de déshydratation du coureur, la température de l'organisme, l'intensité de l'effort et le niveau de stress du sportif.

Comme cité dans le paragraphe précédent, la boisson à consommer lors de l'effort présente une importance dans sa quantité et sa composition. Le mélange glucidique présentant la meilleure efficacité est une association de glucose, fructose et/ou saccharose. La vidange gastrique est mieux assurée pour des solutions iso ou hypotonique au plasma sanguin : cette vidange assurée, atteste d'une bonne réhydratation face aux pertes sudorales. Tandis que pour des solutions hypertoniques, l'apport glucidique est plus important, mais la vidange gastrique est ralentie et donc l'hydratation en est impactée, traduit par une diminution de la performance, un risque de crampes accru et des troubles digestifs. Pour une solution isotonique, on estime que l'on peut aller à plus de 100g.L-1 de glucide (maltose et polymère

de glucose). Au-delà de ce seuil de 100g.L-1, la vidange gastrique diminue, et la densité énergétique ne s'avère pas pertinente. Finalement, le plus intéressant est de prendre des boissons isotoniques composés de 30 à 80g.L-1 de mono-saccharides et de 40 à 180g.L-1 de poly-saccharides : les mélanges glucidiques dans la boisson présentent une meilleure efficacité qu'un seul type de glucide.

Il est intéressant d'avoir des glucides à petite taille particulière, afin d'avoir une vidange gastrique normale (la vitesse est ralentie au-delà de 2nm). Il ne faut, en aucun cas mettre de lipides dans ces boissons, car ils ralentissent la vidange gastrique. A contrario, les électrolytes présentent un énorme intérêt, afin de reformer les composés éliminés par les pertes sudorales, de plus ils agissent sur l'osmolarité de la boisson et sur l'absorption d'eau directement. Le sodium facilite l'absorption d'eau, mais aussi de glucose.

Pour conclure sur la boisson d'effort, la prise régulière lors d'un effort de plus d'une heure est primordiale pour le bon fonctionnement physiologique : 150 à 300mL de boisson toutes les 15 à 30 minutes sont nécessaires pour compenser les pertes hydriques, mais également avoir un supplément glucidique (30 à 100g.L) de sels minéraux et nutriments. Il faut avoir en tête que des apports réguliers de glucides lors de l'effort permettent d'être performant lors de l'épreuve, cependant la lipolyse est réduite : il faut faire un choix entre la forme ou la performance.

Dans le cadre d'efforts plus longs, des adaptations sont nécessaires, la boisson ne suffit plus au-delà de 3 heures, d'où l'intervention des collations solides à base de glucides complexes à index glycémique très élevé et de protéines. Au-delà de 5 heures d'effort, il est nécessaire de fractionner les apports en petits repas de glucides simples et complexes ainsi que de protéines.

II.2.6.4 En phase de récupération après l'effort :

La priorité est de reformer les réserves en glycogène musculaire, la vitesse de resynthèse dépend de la capacité à se ré-entraîner rapidement ou de refaire une compétition rapidement. Cela nécessite une capacité à capter rapidement le glucose apporté. Juste après l'exercice, le glucose est plus efficace pour régénérer le glycogène musculaire, ceci par rapport au fructose (le glucose est mieux capté par le muscle et le fructose par le foie). La régénération est plus efficace lors d'apport de mélange glucidique, sans doute car la capacité du foie à prioriser le fructose permet d'apporter davantage de glucose vers les muscles. Une à deux heures après la fin de l'épreuve, l'introduction de glucides solides ajoute un renforcement du processus de

resynthèse, à renouveler toutes les deux heures pendant six heures. Dans les jours suivant l'effort, la prise de féculents ou céréales (index glycémique faible ou modéré) permet la poursuite de la resynthèse des réserves (l'amidon possède une capacité à maintenir une insulinémie élevée prolongée).

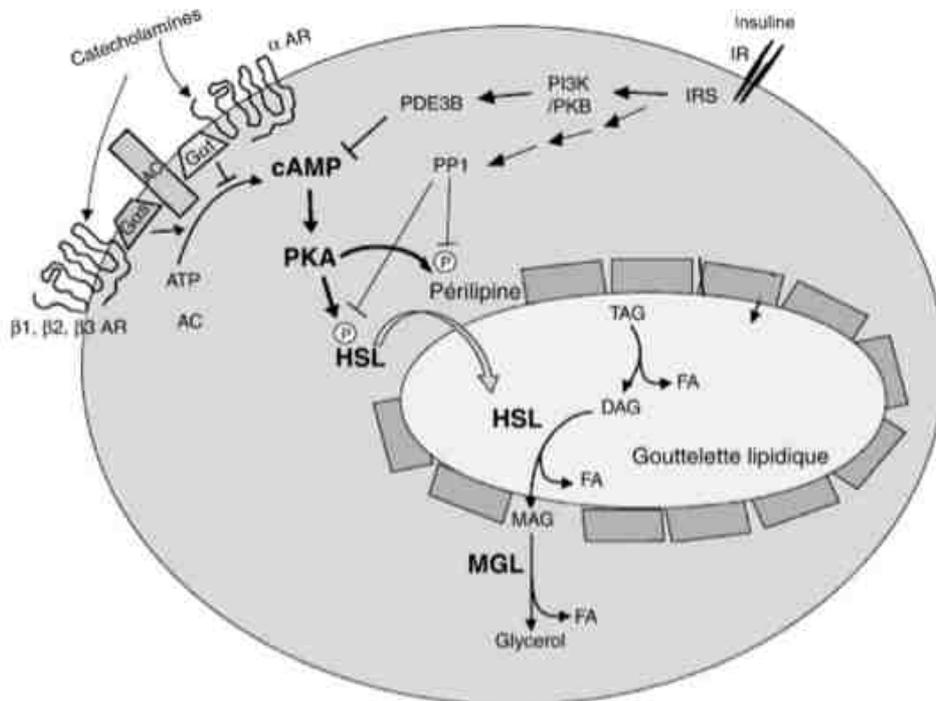
II.3 Les lipides dans l'alimentation du sportif :

Les corps gras représentent 30 et 35% des apports nutritionnels conseillés. On retrouve certains acides gras, dits essentiels, nécessitant des apports réguliers par l'alimentation : l'acide linoléique et l'acide alpha-linolénique.

II.3.1 La lipolyse adipocytaire et son contrôle :

La mobilisation des acides gras mis en réserve sous la forme de triglycérides dans le tissu adipeux est contrôlée par une enzyme clé : la **lipase hormonale sensible (LHS)**.

Pour être active, cette enzyme a besoin d'être phosphorylée par une protéine kinase, elle-même phosphorylée au préalable par l'AMPc, dont la concentration dépend de l'activité de l'adénylylcyclase (figure 16). Les hormones et divers agents capables de faire varier les concentrations en AMPc intracellulaire participent directement au contrôle de la LHS, et donc à la lipolyse.



AR : récepteur adrénergique ; IRS : substrat du récepteur à l'insuline ; HSL : lipase hormono-sensible ; TAG : triglycéride ; DAG : diglycéride ; MAG : monoglycéride ; MGL : lipase des monoglycérides ; FA : acide gras.

Figure 16 : contrôle de la lipolyse adipocytaire (D'après : Jaworski K, Sarkadi-Nagy E, Duncun RE, Ahmadian M, Sul HS. Regulation of triglyceride metabolism. IV. Hormonal regulation of lipolysis in adipose tissue. Am. J. Physiol. 2007;293 :G1-4.)

Chez l'Homme, les **catécholamines** et **l'insuline** sont considérées à l'heure actuelle comme les principaux acteurs hormonaux régulateurs de la lipolyse physiologique. Les autres acteurs agissant sur le taux d'AMPc.

Les catécholamines (adrénaline et noradrénaline) exercent leurs actions par l'intermédiaire de deux types de récepteurs B (lipolytique) et alpha (antilipolytique) respectivement subdivisés en β_1 , β_2 et en α_1 , α_2 . Les récepteurs de type β et α . présentent des différences régionales en termes de nombre et de sensibilité vis-à-vis des catécholamines.

Le tissu adipeux sous cutané abdominal est plus sensible à la stimulation β -adrénergique que le tissu adipeux sous-cutané glutéaux-fémoral ; cette différence de sensibilité est plus prononcée chez la femme que chez l'homme.

Les récepteurs β_1 et β_2 sont présents en proportions sensiblement égales sur adipocyte, qu'il soit sous-cutané ou viscéral. Le récepteur β_1 a une affinité équivalente pour l'adrénaline et la noradrénaline. Alors que le récepteur β_2 a plus d'affinité pour l'adrénaline. Un seul type de récepteur α , le récepteur α_2 -adrénergique, est retrouvé à la surface de l'adipocyte. On a pu montrer que les catécholamines avaient davantage d'affinité pour les récepteurs α_2 -adrénergiques que pour les récepteurs β -adrénergiques et que l'adrénaline avait plus d'affinité pour les récepteurs α_2 -adrénergiques que la noradrénaline. Lorsque les catécholamines sont présentes en grande quantité, ce sont les récepteurs β -adrénergiques, de plus faible affinité, qui sont mis en jeu. La réponse lipolytique du tissu adipeux résulte donc de la balance entre les deux effets antagonistes β et α_2 -adrénergiques, balance qui est elle-même dépendante de la localisation du dépôt adipeux et des concentrations en catécholamines.

L'insuline participe à la régulation du métabolisme des lipides au niveau de l'adipocyte par un double effet, anti lipolytique et lipogénique. La lipolyse chez l'homme de poids normal est extrêmement sensible à l'action de l'insuline. L'action anti lipolytique de l'insuline peut être expliquée d'une part par la stimulation d'une enzyme cytoplasmique, la phosphodiesterase-3

(PDE-3) entraînant une diminution du niveau d'AMPc dans l'adipocyte (figure 16) et d'autre part, par une inhibition de l'adénylcyclase.

De plus, l'insuline pourrait provoquer une phosphorylation des récepteurs β -adrénergiques, leur internalisation et ainsi contribuer à une diminution de la réponse lipolytique aux catécholamines.

II.3.2 Mobilisation des lipides et exercice musculaire :

Au cours de l'exercice musculaire, les concentrations de catécholamine augmentent avec l'intensité de l'exercice alors que celles de l'insuline diminuent. Pour un exercice de même intensité relative ou absolue, la sécrétion de catécholamines est réduite avec l'entraînement et cette réduction est d'autant plus marquée que l'exercice est de longue durée. L'augmentation des catécholamines et la diminution de l'insuline pendant l'exercice favorisent donc la libération d'acides gras comme substrat énergétique.

II.3.3 La dégradation des lipides :

L'oxydation lipidique implique une grande quantité d'oxygène, cependant la quantité d'énergie produite est considérable. La pratique d'un exercice physique est corrélée à une élévation du taux d'acide gras plasmatique : comme vu précédemment, la libération est plus importante lorsque l'insulinémie est faible et que le taux de catécholamines plasmatiques est élevé.

Lorsque l'effort dure plus de 30 minutes, à une intensité à 50% de la VO_{2max} , l'insuline plasmatique diminue, les catécholamines augmentent et libèrent les acides gras des triglycérides stockés : la quantité d'acide gras libérée est multipliée par 3 à 6 entre la phase de repos et la phase d'effort. Les acides gras fournis par les muscles représentent jusqu'à 45% de l'énergie. L'oxydation des acides gras atteint son maximum pour une VO_{2max} de 40%. L'entraînement présente un intérêt dans la réponse de l'organisme à l'insuline : l'insuline baisse plus rapidement pour un entraînement régulier prolongé à intensité modérée. Cela accélère alors le processus de libération des AG dans le sang, pour une prise en charge plus rapide et une production énergétique à la hausse. Le phénomène d'oxydation intervient plus rapidement car les capacités respiratoires sont plus développées, apportant davantage d'oxygène consommé par les mitochondries (présent en plus grand nombre).

II.3.4 Parcours des acides gras :

La triglycéride lipase dégrade les triglycérides adipocytaires en un glycérol et trois acides gras dans le compartiment sanguin. La capacité à dégrader les acides gras dépend de

l'intensité de l'exercice : plus celui-ci est intense, plus cette capacité est faible (70% au repos, on descend à 25% pour une VO_2 max de 40%, puis 0% pour un effort ayant une VO_2 max de 70%). Une diminution de l'insuline augmente l'activation des lipases : plus l'exercice est prolongé, plus les taux d'insuline sont faibles, assurant un taux important d'acide gras.

II.3.5 Certains ergogènes agissent sur le métabolisme lipidique :

La **caféine**, active les lipases, stimulant la libération d'acide gras dans le sang. Elle retarde l'arrivée de la fatigue, en facilitant l'accès à l'énergie par l'apport d'acides gras. Ce stimulant est considéré comme dopant en compétition au-delà $1, 2\mu\text{g.mL}^{-1}$ d'urine.

La **L-Carnitine** facilite l'entrée des acides gras dans les mitochondries, où elles sont oxydées. Cependant, elle n'accélère pas les systèmes de transport des acides gras. Elle est considérée comme un « brûleur de graisse ».

La **taurine** ne présente pas d'effet sur la lipolyse, malgré son allégation « brûleur de graisse ». Elle assure une meilleure digestion et assimilation des graisses par son incorporation dans les sécrétions biliaires.

Les triglycérides sont la forme de stockage principale des lipides, au niveau adipocytaire, la densité énergétique qu'ils contiennent est de l'ordre de 7kcal/g (ou 29kJ.g). Un individu sédentaire, présente des réserves lipidiques de l'ordre de 20 à 35% chez la femme et de 10 à 20% chez l'homme. Pour un sportif, ces chiffres tombent à 15 à 25% chez la femme et 5 à 15% chez l'homme. Les enzymes de dégradation lipidique ont une activité réduite, selon le contexte physiopathologique (régime, diabète, etc ...).

On prend en compte le délai d'action du métabolisme lipidique, le temps de libération, de transport, d'oxydation des lipides, soit un délai de 10 à 20 minutes avant que la bascule puisse être faite entre métabolisme glucidique et métabolisme lipidique. Durant ce laps de temps, si la glycémie se trouve abaissée, la néoglucogenèse et la lipolyse sont stimulées. Si en revanche, un apport glucidique a lieu durant cette période, le taux en insuline diminue plus lentement, et donc le glucose conserve sa place prédominante dans le métabolisme, réduisant alors la dégradation des acides gras : un apport de glucose reporte la lipolyse.

II.3.6 Les besoins lipidiques :

D'un point de vue **quantitatif**, il y a peu d'impact sur la performance à l'entraînement ou en compétition, que ce soit juste avant la pratique ou pour un régime alimentaire sur plusieurs semaines. Les lipides représentent 20 à 30% de l'alimentation quotidienne pour le sportif

d'endurance (contre 30 à 35% habituellement). Consommer des glucides avec des lipides augmente légèrement la capacité d'oxydation des composés gras, cependant il n'y a pas d'effets sur la performance, ceci car la tolérance gastro-intestinale limite l'accès aux acides gras alimentaire pour la production d'énergie.

D'un point de vue **qualité** des acides gras, les acides gras poly-insaturés « n-6 » présentent un fort intérêt car elles renforcent l'érythrocyte en améliorant la déformabilité membranaire. Pour les « omégas 3 », on compte l'acide eicosapentaénoïque (EPA) qui inhibe la production de thromboxane A2 et stimule la production de la prostaglandine I3 (PGI3), réduisant la vasoconstriction.

Cependant des quantités trop importantes de PGI3 réduisent les capacités du système immunitaire et fragilisent les membranes cellulaires. Il est primordial d'apporter ces lipides par l'alimentation, que sont l'acide linoléique et l'acide alpha linoléique, à hauteur de 1% des apports énergétiques totaux (soit 4 à 6g.j).

Les lipides membranaires sont continuellement soumis à l'oxydation de radicaux libres oxydants lors d'efforts physiques, accroissant le risque de lésions cellulaires et donc de blessures. La consommation d'huiles végétales (colza, olive, soja, ...) et de poissons gras (sardine, thon, ...) est fortement recommandée. Pour finir, les apports en AGPI n-3 et n-6 doivent être de 10g/jour d'acide linoléique et 2g/jour pour l'acide alpha-linolénique chez le sportif. Ces valeurs sont très rarement atteintes pour des apports de **1800 kcal. Jour-1** : cela pose la question d'une alimentation suffisante et éventuellement la place des compléments alimentaires.

II.4 Les micronutriments :

Avec un sportif, il semble nécessaire d'adapter et individualiser les apports nutritionnels aux exigences de la discipline pratiquée, et de s'assurer d'un déficit préalable avant d'envisager une complémentation.

La correction des déséquilibres exige souvent une réflexion plus large qui tient compte non seulement des entrées et des pertes, mais aussi des fonctions des intestins, de la composition des acides gras des membranes cellulaires et des capacités de défense de l'organisme contre l'agression radicalaire. Dans un tel contexte, la révision des apports n'est donc pas l'unique priorité mais figure seulement parmi les nombreuses actions d'une stratégie micronutritionnelle.

II.4.1 Le fer :

L'organisme humain adulte renferme 3 à 5g de fer. Cet oligoélément joue un rôle essentiel dans de nombreuses fonctions biologiques. Il intervient dans la constitution de l'hémoglobine (pigment respiratoire des globules rouges assurant les échanges gazeux au sein de l'organisme), de la myoglobine (forme de réserve de l'oxygène dans le muscle) et d'enzymes jouant un rôle capital dans de nombreuses réactions métaboliques.

Dans l'organisme, le fer est présent sous deux formes : le **fer héminique** (70%) qui est un constituant de l'hémoglobine, de la myoglobine et d'enzymes ; et le **fer non héminique** (30%) qui correspond aux formes de transport (transferrine) et de réserve du fer (ferritine, hémosidérine).

Compte tenu des caractères pro oxydants, le fer n'existe pas sous forme ionisée libre.

II.4.2 Les missions du fer :

Cet élément participe à 3 missions principales :

- L'oxygénation tissulaire
- La production d'énergie (transport d'électrons au sein de la membrane mitochondriale)
- L'oxydation, la réduction de substrats et la synthèse de divers composés (neurotransmetteurs...) via son rôle de cofacteur d'enzymes.

II.4.3 Les pertes de fer :

Un adulte perd en moyenne 1mg de fer par jour via les sécrétions digestives, l'urine, la desquamation de la muqueuse intestinale et de la peau.

Ces pertes sont majorées chez le sportif, ainsi l'activité sportive pratiquée de manière régulière expose les pratiquants à un risque de déficit plus élevé.

Plusieurs processus physiologiques responsables de ces pertes ont été identifiés :

- L'ischémie intestinale qui accompagne l'effort physique est un facteur d'agression de la muqueuse intestinale et de l'émission de sang (donc de fer) dans les selles. L'absence et l'insuffisance d'hydratation à l'effort aggravent ce phénomène. En course à pied, l'onde de choc provoquée par l'impact du pied sur le sol accroît le danger d'une rupture de la membrane des globules rouges et donc d'une hémolyse intravasculaire donc une perte du fer.

- La course en descente à l'origine de contraction musculaire excentrique, amplifie l'atteinte des fibres. Les microhémorragies et la réponse inflammatoire subséquentes accentuent les déplétions de fer.

- Accentuation des pertes chez les femmes sportives durant leurs règles.

II.4.4 Les conséquences de la carence en Fer chez le sportif :

La carence en fer est identifiée par un bilan sanguin et peut donc se traduire par une anémie ayant des conséquences cliniques chez le sportif comme : l'essoufflement, la fatigue, la pâleur, l'irritabilité...

Il est donc important de consulter son médecin afin d'y pallier.

Comment apporter suffisamment de Fer par l'alimentation ?

Afin de couvrir les besoins en fer, il faut aller le puiser dans les aliments qui en contiennent. Il existe deux formes de fer présents dans l'alimentation, qui ne sont autres que les deux formes de fer présentes dans le corps humain :

- Le **fer héminique** que l'on trouve dans les produits d'origine animale tels que la viande, la volaille, le poisson et les abats. Son taux d'absorption est largement supérieur à celui du fer non héminique, il est de 20 à 30%. Seulement 10 à 15% de notre apport total en fer provient de cette catégorie au vu de la part que prennent les viandes/poisson/œufs dans notre alimentation.
- Le **fer non héminique** que l'on trouve dans les aliments végétaux, dans les produits laitiers et dans les œufs. Son taux d'absorption est inférieur à 5% mais 85% de notre apport en fer provient de cette catégorie.

II.4.5 Les recommandations d'apports du fer :

Les recommandations de l'ANSES sont établies à hauteur de 11mg/jour de fer chez l'homme et la femme menstruée, voire 16mg/jour chez les femmes ayant des pertes menstruelles importantes. Seulement une partie du fer ingéré est absorbée au niveau digestif, soit 1,65mg du fer est absorbé et disponible pour un apport de 11mg, cela pour une alimentation équilibrée et diversifiée (biodisponibilité plus importante pour le fer provenant de la viande et du poisson que pour les céréales). Il est intéressant de supplémenter temporairement un individu déficient en fer, à hauteur de 100mg/jour de fer ferreux, avec suivi médical, prise de sang et dosage du fer. Tandis que pour un sujet non carencé en fer, une supplémentation présente peu d'intérêt. Une alimentation équilibrée apporte les quantités de fer nécessaires

(50mg/jour pour une prise de 170 à 255g/jour de viande de bœuf). Une prise de 100 à 300mg/j permet d'accroître la ferritinémie, mais aucun impact sur la performance physique n'est observé face à cette supplémentation. Une supplémentation sans raison expose l'athlète à des risques accrus d'infarctus du myocarde ou de cancer (cela dû à l'effet pro-oxydant lors de la prise concomitante avec la vitamine C).

II.4.6 Conseils diététiques afin d'optimiser les apports alimentaires en Fer :

- Respecter les barèmes temps/température des thés (le plus souvent indiqué sur l'emballage), si vous ne les connaissez pas, il est possible de se baser sur 3 à 4 minutes à une température de 60-70°C. Consommer le thé de préférence en dehors des repas.
- Si vous souhaitez réinfuser le thé : effectuer 2 infusions de 2-3 minutes à 60°C. Éviter de boire plus de 5 tasses de thé par jour.
- Intégrer au minimum une portion de protéine d'origine animale dans votre alimentation quotidienne : viande, poisson, ou œufs.
- Favoriser un apport en féculents complets ou semi-complets.
- Limiter la consommation de légumineuses à 2 fois par semaine.
- Consulter votre médecin ou un diététicien dans le cadre d'un régime végétarien ou végétalien.
- Autorisez-vous un petit écart chocolaté de temps à autre, le cacao est source de Fer

II.5 Magnésium :

L'insuffisance en magnésium est souvent pointée du doigt en présence de crampes au repos ou tressautements de paupières. Les sportifs sont-ils davantage exposés que les sédentaires à un manque de magnésium ? Quelles sont les causes et les répercussions sur les aptitudes sportives d'un éventuel déficit ?

II.5.1 Sa localisation :

La quasi-totalité du magnésium présent dans l'organisme est emprisonnée dans nos cellules (essentiellement dans les os, les muscles et le cerveau). Sa présence dans le milieu extracellulaire est très faible (environ 1% des stocks dans l'organisme).

De ce fait, son dosage sanguin et érythrocytaire ne reflète pas vraiment le niveau de réserve mais témoigne davantage des apports alimentaires.

II.5.2 Rôle du magnésium :

Le magnésium est un minéral essentiel à notre forme quotidienne :

- Il intervient dans plus de 300 réactions enzymatiques à l'origine de la production d'énergie disponible pour nos cellules
- Il participe à la régulation nerveuse et nous aide à mieux gérer le stress
- Il est indispensable au bon fonctionnement de notre cœur, de notre pression artérielle et participe à la prévention des risques cardio-vasculaires, de diabète ou d'altération de la mémoire.

II.5.3 Correction des déficits :

La correction du déficit passe souvent par une réforme des habitudes alimentaires et par l'adoption d'une ration à plus forte densité nutritionnelle (davantage de minéraux, d'oligoéléments et de vitamines pour un même apport énergétique).

Quelques conseils diététiques afin de gommer progressivement les déficits :

- Consommer quotidiennement des fruits et légumes de saison (exemple : une portion de légumes cuits + une portion de légumes crus + 2 à 3 fruits)
- Privilégier la cuisson des végétaux à la vapeur, à l'étouffée, au four ou en papillote. La cuisson à l'eau réduit leur teneur en magnésium.
- Remplacer les produits céréaliers raffinés (riz, pâtes, pain blanc) par des aliments complets ou semi-complets. Ils offrent à portion égale un apport de magnésium supérieur.
- Se nourrir régulièrement de légumes secs (lentilles, pois chiches...).
- Agrémenter son quotidien de fruits secs (dattes, figes, abricots, raisins...), d'oléagineux (amandes ou purée d'amandes complètes, noix, noix de cajou...), de chocolat noir (20 à 30 g/jour).
- Consommer régulièrement des fruits de mer
- Les jours d'entraînement, possibilité de boire par prises régulières à distance des repas, une eau enrichie en magnésium (Hepar®, Badoit®, Contrex®)

II.5.4 Recommandations d'apport chez le sportif

La supplémentation en magnésium ne s'est jamais traduite par une amélioration des performances. Les apports en magnésium chez le sportif doivent être plus élevés que chez le

sédentaire. L'apport en magnésium devrait être relié aux dépenses énergétiques à raison de 150mg/1000KCal. Cet apport doit et peut se faire par une alimentation variée et équilibrée. Un apport par les boissons peut être recommandé en cas de fortes pertes par la sueur en ambiance chaudes (100mg/l de boisson).

II.6 Calcium :

II.6.1 Définition, fonctions et rôles :

Le calcium est le minéral le plus abondant du corps humain, soit 1 à 1,2 kg environ chez l'adulte. 99% de ce calcium contribue à la formation et à la solidité des os et des dents. Le calcium non osseux, malgré sa faible part (1%), intervient dans de multiples fonctions indispensables à l'organisme : coagulation sanguine, contraction musculaire, conduction nerveuse, libération d'hormones...

La concentration de calcium dans le sang (calcémie) est maintenue dans des limites de valeurs très étroites et ce au détriment des réserves osseuses. Ainsi, l'impact d'un régime n'apportant pas suffisamment de calcium (alimentation carencée), n'est apparent que lorsque surviennent des modifications au niveau de l'os (mauvaise constitution osseuse chez le jeune, décalcification chez l'adulte et la personne âgée).

A tout âge, il est donc indispensable d'assurer une couverture permanente et suffisante des besoins en calcium. Avoir des apports alimentaires proches des valeurs de références nutritionnelles y contribue. Ceci est particulièrement vrai durant l'enfance et l'adolescence, lorsque se met en place le capital osseux maximal, ainsi qu'au moment où survient le vieillissement physiologique de l'os.

En effet, l'os est un tissu vivant qui se forme et se dégrade tout au long de notre existence. Ce phénomène permet de remplacer l'os ancien par de l'os jeune et de réparer les différents dommages subis par l'os.

Au cours des 20 premières années de vie, l'activité de formation est plus élevée que celle de dégradation, ce qui conduit à l'acquisition et la consolidation du capital osseux. Puis, à partir de 30 ans, une perte osseuse physiologique apparaît (la formation étant insuffisante pour compenser la dégradation), suivie d'une amplification de cette perte à partir de 50 ans chez la femme et à partir de 60 ans chez l'homme ; ce qui constitue un terrain favorable pour le développement de l'ostéoporose.

Recommandations

Chez l'adulte, la référence nutritionnelle pour la population (RNP) a été mise à jour en 2016. Elle est de 1000 mg chez les 19-23 ans et de 950 mg chez les plus de 24 ans.

Les anciennes références nutritionnelles (les apports nutritionnels conseillés ou ANC) en calcium étaient de 500 mg chez le nourrisson, de 700 mg chez l'enfant de 4 à 6 ans, de 900 mg chez l'enfant de 7 à 9 ans et de 1200 mg jusqu'à 19 ans. Elles sont en cours de réévaluation.

II.6.2 Les aliments les plus riches en calcium :

On retrouve principalement le calcium dans les produits laitiers. Ensuite, il y a les sources végétales du calcium, notamment les légumes à feuilles, les légumineuses, et les fruits. Vous pouvez également consommer de l'eau minérale, c'est une source importante de calcium.

Les produits céréaliers apportent également du calcium, prenez par exemple du pain et des céréales au petit-déjeuner.

Le parmesan fait partie des aliments les plus riches en calcium avec un apport de 1 200 mg pour 100 mg consommés. Il y a également la mimolette (970 mg/100g), la sardine à l'huile égouttée (798 mg/100 g), les fromages bleus (600 mg/100g), le camembert (490 mg/100g), l'anchois à l'huile égouttée (296 mg/100g).

II.6.2.1 Le zinc :

C'est un élément très ubiquitaire, quantitativement le plus important des oligoéléments dans tous les tissus (en dehors des éléments figurés du sang).

En parallèle de son rôle dans les défenses antioxydantes, le zinc intervient dans de très nombreuses réactions biochimiques qui concernent le métabolisme des glucides, des lipides ou des acides aminés.

De multiples protéines possèdent des sites de fixation du zinc, qui permettent d'assurer la maturation spatiale de la protéine et ses fonctions biologiques.

La pratique régulière de l'exercice augmente les pertes de zinc, en majorant jusqu'à 50% l'excrétion urinaire de cet oligoélément après un exercice intense. Une alimentation quantitativement suffisante, variée et équilibrée, permet de subvenir aux besoins augmentés. En revanche, la supplémentation irraisonnée en zinc peut créer un déséquilibre du cuivre, diminuer la forme HDL du cholestérol, et augmenter ainsi le risque cardiovasculaire.

II.6.2.2 Le chrome :

C'est l'un des cofacteurs de l'insuline, qui joue un rôle dans les effets biologiques de cette hormone essentielle au maintien de la glycémie et au métabolisme du glucose. Ce micronutriment est donc potentiellement important chez les sportifs soumis à des apports importants en glucides.

La pratique de l'exercice se traduit par une augmentation des besoins en chrome, essentiellement liée à une augmentation des pertes urinaire.

La consommation concomitante d'aliments riches en glucides majore ces pertes, par une augmentation de la production et du taux de renouvellement de l'insuline.

Expérimentalement, on a montré sur un modèle animal qu'un statut déficitaire en chrome était associé à une réduction des réserves tissulaires en glycogène. De tels résultats ont amené à penser que le statut du chrome est l'un des déterminant des performances en endurance.

Ainsi, quelques études ont eu pour objectif de réaliser des suppléments en chrome pour augmenter la production d'insuline, soit afin de majorer les réserves musculaires et hépatiques de glycogène, soit afin de favoriser l'excrétion protéique et de modifier la composition corporelle.

Les processus de synthèse protéique sont intimement liés à l'activité de l'insuline et la supplémentation en chrome pourrait, au moins en théorie, majorer le développement de la masse musculaire attendue à l'entraînement en force.

Les quelques données actuellement disponibles laissent à penser que chez le sportif, les besoins sont spontanément couverts par une alimentation équilibrée. Les apports conseillés sont de 65 à 55 ug/l.

II.7 Les vitamines :

II.7.1 Les différentes vitamines :

La thiamine (vitamine B1). C'est une vitamine absorbée au niveau jéjunal, via un transport actif saturable, permettant d'avoir une absorption comprise entre 2 et 6mg/jour. En cas d'apport accru, une quantité supplémentaire peut être partiellement absorbée. Le pH du tube digestif est favorable à l'absorption de ce nutriment, à contrario, une prise de médicament perturbe l'absorption.

Elle est phosphorylée en thiamine triphosphate (TTP) au niveau hépatique, qui est également un lieu de stockage, tout comme les reins, les muscles et le système nerveux. Ces réserves sont évaluées à hauteur de 30mg pour un adulte. Elle exerce une fonction de coenzyme dans les mécanismes enzymatiques liés au cycle de Krebs (transacétolisation et décarboxylation oxydative du pyruvate). Elle possède une fonction de neurotransmetteur, expliquant les désordres nerveux observés en cas de carence importante. Les carences en thiamine sont observées chez les dénutris et les alcooliques sévères. Elle se caractérise par une anorexie progressive avec dénutrition, suite d'une insuffisance cardiaque (tachycardie, œdème, IC,...), des troubles neurologiques (trouble de la marche et parésie, pertes d'équilibres,...) et des troubles psychiques (irritabilité, dépression).

Certains facteurs interviennent sur la biodisponibilité de cette vitamine, tels que les aliments contenant des thiaminases (thé, crucifères et certaines bactéries contenues dans les poissons crus). L'éthanol réduit l'absorption, de même que les médicaments anti-acides, perturbant le pH digestif et donc l'absorption. Les sportifs consommant de grande quantité de glucides font attention à leurs apports en thiamine et même l'accroissent, car le métabolisme glucidique consomme de grandes quantités de thiamine. Pour éviter une supplémentation, on privilégie les aliments glucidiques complexes, généralement riches en vitamine B1 tel que l'avoine. Les apports conseillés dépendent des apports caloriques, chez un homme adulte, pour 2200kcal apporté, il est conseillé d'apporter 1,5mg, et 1,2mg/jour chez la femme. L'apport minimum conseillé est de 1mg/jour.

II.7.1.1 La vitamine B2 :

Appelé riboflavine, elle est sensible à la lumière et est stable à la chaleur. Son action se fait en tant que coenzyme dans les chaînes respiratoires et les réactions de déshydrogénation. Elle est absorbée dans la partie proximale du tube digestif. On la retrouve dans les tissus musculaires, le tissu hépatique, et les tissus cardiaques et rénaux. La quantité contenue dans l'organisme est comprise entre 250 et 500mg. Il est très compliqué d'observer une carence en cette vitamine, ce sont généralement des signes non spécifiques : signe cutané (dermite séborrhéique sur l'aile du nez, chéilite, stomatite) et oculaire (sécheresse, opacité et hypervascularisation de la cornée). Certains groupes de personnes sont sujets aux carences : les femmes enceintes et allaitantes, les personnes âgées et les personnes consommant de l'éthanol ou des contraceptifs oraux.

Les apports conseillés sont de 1,8mg de riboflavine pour l'homme adulte et 1,5mg pour la femme. Présente majoritairement dans les produits laitiers (35% des apports), la viande, le poisson et les œufs (35%) et les fruits et légumes (17%), le pain, pommes de terre et céréales (4%). Il faut prendre en compte le régime alimentaire, le lait de vache par exemple, malgré le fait d'être un produit laitier, est peu riche en vitamine B2, cependant le fait d'être fréquemment consommé assure les apports réguliers en vitamine B2.

II.7.1.2 La vitamine B3 :

Également appelé Niacine ou vitamine PP, elle a une importance en tant que coenzymes d'oxydoréduction impliqués dans la chaîne respiratoire. On les reconnaît sous le nom de NADP et NAD (Nicotinamide adénine dinucléotide phosphate et Nicotinamide adénine dinucléotide). Elle est retrouvée au sein de l'acide nicotinique et le nicotinamide. Il n'est pas impératif de l'apporter par l'alimentation du fait qu'elle puisse être synthétisée à partir d'acide aminé essentiel (le tryptophane).

On la retrouve dans la viande, sous forme de NAD et NADP, forme peu influencée par les diverses méthodes de transformation des aliments, elle est hydrolysée dans l'intestin pour y être absorbée. Tandis que dans les céréales, on la retrouve sous forme osidique : la niacytine, et est hydrolysée dans le tube digestif pour libérer 30% de nutriments absorbables. Les tissus de l'organisme utilisent l'acide nicotinique et le nicotinamide pour fabriquer du NAD et NADP afin de faire fonctionner le métabolisme énergétique. Le foie se sert du tryptophane non utilisé pour la synthèse protéique afin de produire ces coenzymes. Pour un individu ayant un régime alimentaire équilibré, la quasi-totalité de son tryptophane est consommé dans cette indication. Pour calculer les quantités, on estime que 60mg de tryptophane permettent de former 1 mg de nicotinamide, on calcule alors l'équivalent niacine à hauteur de 1/60 du contenu alimentaire en tryptophane. On calcule les équivalents niacine à hauteur de 5mg équivalent niacine pour 1000kcal d'apport journaliers. Les RNP sont de 14mg équivalent niacine/jour chez l'homme et 11mg/jour chez la femme. Cela peut se faire par l'apport protéique, pour un individu consommant 70g de protéines, cela représente environ 980mg de tryptophane, soit 16,3 mg équivalent niacine, dépassant les valeurs. Il faut faire attention à ne pas surcharger les apports, car cette vitamine est toxique pour de nombreux organes, notamment le foie, si la dose est supérieure à 750mg. En cas de carence en niacine, se développe une maladie carencielle nommé la pellagre.

II.7.1.3 La vitamine B5 :

Connu sous le nom d'acide pantothénique, produite exclusivement par les plantes et les micro-organismes. C'est un constituant d'un élément essentiel du métabolisme énergétique : le coenzyme A. Cette vitamine est présente au sein des érythrocytes, les tissus utilisent l'acide pantothénique libre et forme alors le CoA à l'aide de cystéine. La phosphopantéthéine, résidu du catabolisme du coenzyme A, peut être utilisé afin de reformer la vitamine B5 consommée. On la trouve principalement dans les produits protéinés (viandes, œuf, poisson, ...) et est sensible à la chaleur et est entraînée par l'eau de cuisson. Les apports conseillés pour l'homme adulte sont situés à 5,8mg/jour et 4.7mg/jour chez la femme. Sa biodisponibilité digestive est évaluée à 50%. Il est rare de voir des carences en cette vitamine, car très présente dans l'alimentation régulière. Une carence se remarque par des troubles neuromoteurs, de l'asthénie, des douleurs et sensation de brûlure aux extrémités, des faiblesses musculaires.

II.7.1.4 La vitamine B6 :

On rattache divers composés à cette vitamine : le pyridoxal (PL), la pyridoxamine (PM), la pyridoxine (PN) et les dérivés phosphorylés (pyridoxal 5'-phosphate, la pyridoxamine5'-phosphate, la pyridoxine5'-phosphate). On retrouve la PLP et la PMP dans les tissus animaux et la PN dans les tissus végétaux. Le tube digestif l'absorbe par un mécanisme de diffusion passive non saturable : sa biodisponibilité s'élève à 70 à 80%. Cette vitamine agit dans le métabolisme des acides aminés, en tant que coenzymes enzymatiques (aminotransférases, décarboxylases,...).

Les signes carenciels sont aspécifiques, rendant la carence difficile à déceler. L'apport en vitamine B6 est dépendant de l'apport protéique. Des apports protéiques accrus entraînent une rétention de la vitamine B6 afin de l'utiliser dans le métabolisme et donc une forme libre dans le compartiment sanguin plus faible. On conseil chez l'homme, la consommation de 1,8mg de vitamine B6 par jour et 1,5mg/jour chez les femmes. Des risques de troubles neurologiques et mnésiques (neuropathie, mettant 6 mois à disparaître à l'arrêt) sont possibles en cas de surcharge importante et prolongée : pour des doses de plus de 50mg/jour.

II.7.1.5 Vitamine B8 :

Vitamine très importante, provenant de l'alimentation, mais également des bactéries saprophytes du tube digestif. Connue sous le nom de biotine. Présente dans l'alimentation dans le foie (100µg de vitB8 pour 100g de foie), et dans les fruits et la viande (à hauteur de 1µg

pour 100g). Il y a un phénomène de recyclage de la biotine, expliquant les faibles réserves. Sa fonction est primordiale, car intervient dans le métabolisme énergétique, en tant que coenzyme de la pyruvate carboxylase, propionyl CoA carboxylase, béta-méthycrotonyl carboxylase et de l'acétyl CoA carboxylase. Les situations de carences sont rares, traduite par une cétose (du fait de la diminution de la néoglucogénèse et de l'accumulation de lactate, de pyruvate et d'alanine, tout en diminuant la lipogénèse, accumulant l'acétyl CoA : diminution de la synthèse protéique). Les apports conseillés sont de 50µg/jour chez l'homme et la femme.

II.7.1.6 La vitamine B9 :

L'acide folique, contenu dans les folates, subit une réduction par la dihydrofolate réductase. Cette vitamine est sensible à l'air, à la lumière et la chaleur (détruite lorsqu'elle est portée à ébullition). Sa biodisponibilité est comprise entre 60 et 98%, avec une absorption au niveau jéjunal, puis est transportée dans le compartiment sanguin pour être excrétée dans la bile puis réabsorbée : ce cycle entérohépatique est une étape impérative pour la bonne distribution des folates. Elles sont stockées dans le foie, cela représente 50% des réserves de l'organisme. Le reste est exclusivement contenu dans les globules rouges, et n'est récupérable qu'en dégradant ces derniers. Elle participe dans le métabolisme des acides aminés (synthèse de méthionine notamment). Du fait de son importance dans la synthèse de l'ADN et de l'ARN, une carence en cette vitamine est à l'origine un ralentissement du processus de mitose et donc des troubles sur la lignée érythrocytaire, de l'immunité et de l'absorption intestinale. Elle est également importante dans le développement du système nerveux et dans la synthèse de neuromédiateur.

Attention, si les taux sont inférieurs à 100µg/L, on considère cela comme une carence importante, impactant la lignée rouge. Ces carences sont causées par un défaut d'apport alimentaire ou des besoins augmentés : le plus généralement lors des grossesses, mais également en cas de régime hypocalorique non équilibré, en cas de pathologies hémorragiques chroniques, consommation d'aspirine ou d'antiépileptiques. On retrouve le plus de folates dans la salade verte, les châtaignes, noix et amandes ou dans le pâté de foie (100 à 200µg pour 100g) mais aussi dans les légumes verts, maïs, petit pois, pois chiche, melon, œufs et fromages fermentés (50 à 100µg pour 100g). Les RNP pour cette vitamine sont de 330µg/jour chez l'adulte.

Chez les grands consommateurs de produits carnés, une élévation d'apports en vitamine B9 est intéressante, cela face à l'homocystéinémie (qui accroît le risque de maladie cardio vasculaire). Le seuil de risque est à 5mg/jour pour une personne dans un état physiopathologique normal, si on augmente la dose, on estime pouvoir cacher les signes d'une mauvaise absorption de la vitamine B12, certains troubles hématologiques apparaissent (dû au déficit secondaire en vit B9) et conduisent à des troubles neurologiques.

II.7.1.7 La vitamine B12 :

Les cobalamines sont comme de nombreuses autres vitamines B, impliquées dans le métabolisme énergétique. Il existe divers vitamères de la vitamine B12 selon le ligand (hydroxycobalamine, cyanocobalamine, ...). Elle est synthétisée par les bactéries et apportés par les aliments d'origine animale. Le pH de l'estomac entraîne la libération des protéines. Dès ce moment-là, le facteur intrinsèque la prend en charge pour le transport et l'absorption.

Les causes de carences en vitamines B12 sont soit physiopathologiques (anémie de Biermer, gastrectomie, gastrite atrophique, ...) ou nutritionnels (régime végétaliens ou malnutrition protéino-énergétique). Une partie de la vitamine B12 alimentaire est dégradée par la cuisson et également par l'étape gastrique. Il est recommandé d'apporter 2,4mg/jour de cobalamines chez l'adulte, peu importe le sexe.

II.7.1.8 La vitamine C :

La vitamine C intervient dans les phénomènes d'hydroxylation (nécessaire à la synthèse du collagène, de catécholamine et de la carnitine) et l'oxydoréduction. Elle a également une activité anti-radicalaire. L'absorption de la vitamine C est variable selon le sexe, l'âge, l'état physiopathologique (tabagisme, stress, ...) : la concentration plasmatique de vitamine C est plus faible chez des personnes ayant un âge avancé (cela est d'autant plus rapide chez l'homme) car avec la vieillesse le stress oxydant de l'organisme est accru et donc mobilise davantage la vitamine C. On retrouve le même phénomène chez le fumeur, qui se trouve d'avantage confronté au stress oxydant, et qui réduit son alimentation en fruits et légumes. La vitamine C est également prépondérante dans l'absorption intestinale du fer.

Dans un contexte de conseil pour le sportif, notre sujet suit les recommandations hygiéno-diététiques et donc n'est pas fumeur, dans ce cas, l'homme et la femme doivent voir leurs apports en vitamine C à hauteur de 110mg par jour. La limite de sécurité est de 500mg/jour, car il y a un risque de formation de calcul rénaux, d'accoutumance à la vitamine C, d'accumulation de fer, d'avoir une activité pro-oxydante ainsi que des malaises digestifs. Il

ne présente aucun intérêt de prendre des doses bien supérieures aux apports recommandés, car aucune étude n'a démontré d'efficacité améliorée. La carence en vitamine C est le scorbut, et se présente par des œdèmes, des hémorragies et un déchaussement des dents.

II.7.1.9 La vitamine A :

Présente sous la forme de rétinol et de ses dérivés dans le monde animal et sous le nom de caroténoïdes dans le monde végétal. L'activité de ces composés se fait selon l'activité du rétinol, on mesure l'activité en Unité International UI (ou en Equivalent Rétinol ER). Cette vitamine a un intérêt dans la vision, en tant que composant de la rhodopsine (constituant des cellules en bâtonnets de l'épithélium rétinien). Elle assure une bonne acuité visuelle (une mauvaise acuité est un des premiers signes d'hypovitaminose A). Elle agit dans la différenciation cellulaire (en tant que ligand des récepteurs nucléaires, via l'acide tout-trans rétinoïque). C'est une vitamine liposoluble, et est absorbée selon le même mécanisme que les lipides.

On retrouve cette vitamine dans des produits animaux tels que les foies, huiles de foie de certains poissons (morue) ou certains produits laitiers ou les œufs. On en retrouve aussi dans des produits végétaux : carottes, abricots, A titre indicatif, on retrouve 33 000 à 71 000UI de vitamine A pour 100g de foie et entre 4500 et 5000 UI/100g de carottes, ce sont les aliments les plus riches en vitamine A. Pour un adulte masculin sain, les apports recommandés s'élèvent à 750 µg ER/jour (sachant que 1UI = 0,3ER) et de 350µg ER/j chez la femme. Étant donné qu'il existe 2 sources d'apports pour ces vitamines, on estime qu'il est préférable que 60% de la vitamine A apportée proviennent de caroténoïdes (et donc d'aliments végétaux) : 2,1mg de bêta-carotène végétal suffisent pour compléter les apports recommandés (cela s'élève à 350 ER), cela favorise la consommation de fruits et légumes. Des apports trop importants en vitamine A sont corrélés à une hausse du risque de cancer pulmonaire. L'hypervitaminose A, correspond à un apport de 100 à 200 000UI/kg, entraîne une élévation de la pression artérielle intracrânienne, des nausées, vomissements, douleurs osseuses. En cas d'apport quotidien sur une longue période de 25 000UI, cela produit des dommages hépatiques importants. La limite posée chez la population normale est de 1000ER/jour.

II.7.1.10 Vitamine D :

Vitamine particulière, qui peut à la fois avoir une origine exogène et endogène. Notre organisme est capable de la synthétiser, à l'aide des rayons solaires et ultra-violet qui

irradient notre peau. On différencie l'ergocholécalférol (ou vitamine D2) du cholécalférol (vitamine D3). La première a une origine végétale et la seconde une origine animale. Cette vitamine agit dans l'organisme sous forme de 1,25-dihydroxyvitamine D. Elle est stable à température ambiante et est faiblement lipophile, leur conservation est stable tant qu'elle est à l'abri de la lumière et de l'oxygène. Cette vitamine agit sur la minéralisation du tissu osseux et l'homéostasie phosphocalcique (avec l'aide de la parathormone) en jouant sur l'absorption du calcium au niveau de l'intestin. Elle possède également un effet sur la reproduction en agissant sur diverses glandes impliquées (hypophyse, gonades,...), ou encore sur la synthèse hormonale et le bon fonctionnement du système nerveux et immunitaire (attention une carence en vitamine D n'est pas accompagnée de trouble de ce dernier). Un autre de ses effets est sa propriété à jouer sur la différenciation des cellules épidermiques. La quantité de vitamine D est variable selon les taux de calcium et de phosphate, en cas de surcharge en ces deux minéraux, la production sera diminuée, de même que pour une concentration en 1,25-dihydroxyvitamine D importante.

L'apport majeur en vitamine D est endogène, c'est-à-dire que l'organisme le produit par une conversion des irradiations solaires et UV (de 290 à 315nm de longueur d'onde). Une exposition quotidienne au soleil, durant 3 semaines permettrait de produire suffisamment de vitamine D pour 6 mois, soit 10 000UI : une exposition de 15 à 30 minutes par jour du visage et des bras est suffisante pour couvrir les apports nécessaires. Pour les apports exogènes, il est conseillé de se tourner vers les poissons de mer gras (saumon, hareng, sardine, ...) pour avoir 10 à 20µg de vitamine D pour 100g d'apports. On retrouve en plus faible quantité dans d'autres poissons (maquereau, flétan, anguille, thon : 3 à 7 µg/100g) et aussi dans la viande, les abats, le pâté, les œufs et les champignons (entre 0,2 et 2 µg/100g). L'absorption de la vitamine D exogène est relativement lente, on retrouve seulement 15 à 40% de la vitamine D absorbée dans le sang au bout de 12 heures. Pour les apports, dans le cas où on a un sujet qui ne s'expose pas ou peu au soleil, on recommande 10µg/jour (soit 400UI/jour), si on prend un individu qui s'expose normalement au soleil, la vitamine D endogène couvre alors 50 à 70% des besoins vitaminiques, les RNP sont alors de 15µg/jour.

Les signes de carence en vitamine D sont très diversifiés : une ostéomalacie (causée par le défaut de minéralisation), les troubles qui découlent de l'hypocalcémie (convulsions, laryngospasmes, crise de tétanie, ...), des hypotonies musculaires, anémie ferriprive, une hypocalcémie et hypocalciurie, hypophosphatémie, ... Il faut prendre en compte dans ces cas de carences, la situation géographique du sujet, la pigmentation de la peau, l'alimentation

pauvre en vitamine D ou des situations pathologiques impactant les taux en vitamines D. Les situations d'apports excessifs de vitamine D sont lorsque l'on dépasse la valeur limite de 100µg/jour (selon l'EFSA) chez l'adulte en France. Une surcharge en vitamine D se témoigne par de l'anorexie, des troubles digestifs, une perte de poids, de l'irritabilité, une polyurie et polydipsie, un impact rénal et une déshydratation, ainsi que des dépôts calciques au sein des tissus mous.

II.7.2 Mise en jeu lors du travail musculaire :

Les vitamines ont un rôle de cofacteur dans les réactions enzymatiques mettant en jeu le métabolisme cellulaire, selon la durée, l'intensité, la fréquence et de l'activité physique en tant que tel, la quantité d'énergie libéré par l'ATP est variable. Les apports en vitamines hydrosolubles sont proportionnels à l'effort et à la dépense énergétique. Les besoins en vitamines hydrosolubles sont plus importants lors d'exercice physique intense et long. Une déficience en vitamine B réduisent la performance, surtout en condition aérobie.

II.7.3 La capacité antiradicalaire des vitamines :

Certaines ont un effet antioxydant, afin de protéger l'organisme des radicaux libres. La peroxydation lipidique est le phénomène de dégradation des protéines, des membranes phospholipidiques et des noyaux cellulaires, par les radicaux oxygénés produits par le stress oxydant lors de l'effort physique. Ce phénomène oxydant est d'autant plus important que l'effort est intense et le sujet non entraîné : un sportif entraîné, habitué à l'effort, voit son organisme mettre en place d'avantage de systèmes enzymatiques anti-oxydants, en prévision du stress oxydant à venir. Faire des apports supplémentaires en certaines vitamines (Vit E, ...) permet d'endiguer la production de RLO (radicaux libres oxydants) et réduire les risques de blessures physiques, notamment en condition hypoxique et/ou en étant soumis à un rayonnement ionisant UV accru. Dans le cadre d'activité en altitude, il semble alors intéressant de supplémenter le sportif en vitamine E de manière drastique (entre 270 et 540mg/jour de vitamine E au-delà de 4300m d'altitude) afin de lutter face à la détérioration de la structure physique du sujet.

II.7.4 Quels sont les apports conseillés :

L'objectif est de couvrir les besoins afin de pouvoir performer dans les épreuves sportives ainsi que d'assurer l'intégrité de l'organisme par la protection cellulaire face aux radicaux libres. On prend en compte les limites de sécurité dans les apports vitaminiques, ce sont des composés nécessaires au bon fonctionnement de l'organisme, cependant ces limites ne sont

pas identiques à la population générale du fait des besoins spécifiques. On précise qu'une supplémentation en une seule vitamine ne présente pas d'intérêt. Pour un individu pratiquant une activité physique d'intensité modérée, d'une à trois heures par semaine, les apports recommandés sont les mêmes que pour la population générale.

Pour les personnes pratiquant une activité physique intense et répétée, les apports dépendent du type d'activité physique et de l'intensité et de la durée de l'effort. Pour un sport d'endurance, on augmente les vitamines énergétiques (Thiamine, Riboflavine, Niacine, vit B6) et les vitamines antioxydantes (vitamine C, VitE et bêta-carotène, ...). Tandis que chez le sportif de force, on privilégie la vitamine B6 avec les protéines et les vitamines antioxydantes. Et pour le sportif qui a des apports restreints en calories (gymnaste, danse, ...), les apports correspondent au besoin de leur classe d'âge (tout en prenant compte la dépense énergétique). Il faut bien garder en tête que les apports vitaminiques doivent être assurés par une alimentation saine et équilibrée.

II.8 Les micro-constituants :

Ce sont des composés apportés par l'alimentation impactant le métabolisme et ayant un effet, bénéfique ou non, sur la pratique sportive. On distingue les constituants d'origine animale (et/ou fabriqués par l'organisme) et ceux d'origine végétale. Dans le cas des molécules synthétisables par l'homme, rien ne montre qu'un apport supplémentaire est bénéfique à la performance, parfois ces apports inhibent la production endogène, mais ils ne modifient pas les taux au niveau des sites de liaisons.

Il faut prendre en compte la biodisponibilité différente entre des molécules consommées au sein d'un aliment et des molécules que l'on sort de leur matrice. De plus, ces constituants ne sont pas indiqués sur le produit vendu dans le commerce. Les études toxicologiques sur ces molécules sont rares et il est donc compliqué de faire des recommandations nutritionnelles.

II.8.1 Les molécules que l'organisme peut synthétiser :

a-La créatine :

Produite à partir d'arginine et de glycine (AA non essentielle) et de méthionine (AA essentielle). Elle assure le transport d'énergie au sein du muscle, en partant de la mitochondrie productrice d'énergie jusqu'à la myosine consommatrice. Cela lui apporte un

intérêt à la compléter dans la pratique sportive, et au-delà de 6g/jour de créatine, on passe dans le domaine pharmacologique (un suivi médical est préférable).

b- La carnitine :

L'organisme la produit à l'aide de lysine, sa fonction est d'agir dans le transport des acides gras vers l'espace intra-mitochondrial. Aucune étude ne démontre d'intérêt dans le développement de la masse musculaire lors de la performance sportive.

c- Le coenzyme Q10 :

On retrouve des fragments de tyrosine et d'acétyl-CoA. Ce coenzyme intervient dans la production cellulaire d'énergie en agissant dans la chaîne respiratoire. Il présente une activité anti-oxydante. Aucune preuve ne témoigne d'un impact sur la performance du sportif pour une supplémentation en ce micro-constituant.

d-La taurine :

Composé dérivé de la cystéine (AA non essentiel). Présente en intracellulaire, elle agit sur la régulation du volume cellulaire, a une activité anti-oxydante et agit également sur la conjugaison des acides biliaires. Sa supplémentation n'entraîne pas d'amélioration de la performance.

e-La choline

Synthétisée à partir de sérine, on la trouve dans les membranes cellulaires et elle est l'un des constituants essentiels de celles-ci. Il est recommandé d'avoir des apports de 550mg/jour pour l'homme et 425mg/jour chez la femme.

II.8.2 Complémentation et supplémentation :

Lors de supplémentation, il faut garder à l'esprit que l'on vient surajouter des nutriments, se pose alors la question de la limite de sécurité. La frontière entre complémentation et supplémentation est très légère, il faut bien être attentif pour ne pas passer du mauvais côté de l'apport. Les valeurs de référence ne sont pas les mêmes entre la population sportive et la population générale (dans certaines situations, des valeurs diminuées chez le sportif ne sont pas forcément des pré-carences). En général, la supplémentation est justifiée par les sportifs par des besoins de santé (forme physique, dynamisme, gestion de la fatigue, baisse de la masse grasse, amélioration du sommeil, recherche de la performance, augmentation de la masse maigre, accroissement de l'endurance, amélioration de la récupération). Toujours avoir

un œil critique sur ce qui est consommé, les laboratoires usent de malice, en précisant des allégations farfelues ou attirantes pour le consommateur.

On distingue divers suppléments pour le sportif, tout d'abord on compte les nutriments « indispensables ». Avec pour commencer les suppléments à base de poudre de protéines, d'acides aminés, des vitamines ou des éléments traces dans la grande majorité de ces produits. Ce sont souvent des mélanges d'un composé, déséquilibrés par rapports aux RNP, ne s'attardant pas sur les limites de sécurité. Il faut absolument éviter de supplémenter en un seul nutriment, par exemple dans le cas des vitamines, elles agissent en tant que cofacteur dans la majorité des situations et cela nécessite donc un apport de plusieurs vitamines différentes pour avoir une réelle efficacité. Pour les minéraux, aucun effet bénéfique n'a pu être démontré pour une supplémentation, à contrario, des effets délétères ont été recensés. C'est le même cas pour les mélanges protéiques ou d'acides aminés, certains acides aminés comme l'ornithine et l'arginine agissent sur la sécrétion d'hormone de croissance, présentant un risque de déséquilibre physiologique, pour stimuler la production de cette hormone, il est préférable de pratiquer une activité physique.

On distingue des compléments à base de créatine, carnitine, d'extraits secs d'organes d'animaux (pour augmenter la masse musculaire par l'apport protéique), de lactate (pour stimuler le système tampon de l'acide lactique produit lors de l'effort), de caféine (pour son effet mobilisateur d'acides gras), d'inosine (favorise la régénération de l'ATP).

II.8.3 Conseils à l'officine :

Le pharmacien au niveau de l'officine possède un panel assez important de compléments alimentaire à proposer au sportif en fonction de leurs besoins parmi eux :

a-Spiruline :

Complément alimentaire, provenant d'une cyanobactérie prélevée dans une algue. Elle est composée à 60% de protéines mais également en divers minéraux (magnésium, calcium), des acides gras et des vitamines (B9, B3, K et C). Son intérêt est son effet anti-fatigue et tonifiant. De plus sa composition anti-oxydante lutte contre le stress oxydant. Son apport protéique, son effet réducteur de fatigue et réducteur du risque de blessure sont intéressants dans la pratique sportive. Elle a un effet de « coupe-faim », intéressant pour contrôler l'alimentation et le poids. On retrouve environ 390mg de spiruline par gélule. La posologie est de 3 gélules/j, au cours des repas. Il existe des précautions pour les personnes sensibles à l'iode.



Figure 17: Spiruline <https://www.paratamtam.com/produits-energetiques-bien-etre/32877-arkopharma-arkogelules-bio-spiruline-x-150-3578835500592.html>

b-Isoxan Sport Pro :

Intéressant pour son principe d'hydratation, il permet de reformer les réserves consommées lors de l'effort, du fait de sa composition diversifiée en micro-nutriments et glucides :

- Glucides (Maltodextrine et fructose : 25,9g)
- Protéines (22,7g), sel (1,1g)
- Vitamine C (10,5mg), vitamine B1 (0,3mg), vitamine B6 (0,3mg), bêta-carotène (300µg), vitamine A (150µg)
- Calcium (60mg), magnésium (39mg)

Indiqué lors de l'effort, pour une posologie de 1 sachet dans 750mL d'eau 1h30 avant l'épreuve puis 1 sachet chaque heure pendant l'effort et 1 sachet à la fin de l'épreuve, sans dépasser 5 sachets par jour. Les glucides produisent l'énergie pour le maintien de l'effort, à l'aide de la vitamine B1, la B6 aide à la régénération protéique, la vitamine C agit sur le stress oxydant et la fatigue, et pour finir les minéraux restaurent l'équilibre électrolytique.



Figure 18 : Isoxan Sport Pro <https://www.jevaismieuxmerci.com/isoxan-sport-force-42-comprimes-7308.html>

III. Méthodes de récupération :

III.1 Sommeil et récupération :

III.1.1 Le sommeil :

Le sommeil occupe chez l'homme un tiers de sa vie, et son importance se fait ressentir particulièrement chez le sportif. L'activité physique provoque en effet une augmentation significative des besoins en sommeil, afin, d'une part, d'assurer les mécanismes génétiques d'adaptation à l'entraînement et, d'autre part, de réduire l'état de fatigue par un retour aux valeurs de repos (paramètres métaboliques, nerveux, hématologiques...)

Le cycle du sommeil se compose de plusieurs phases : sommeil léger, profond, paradoxal. Ces stades sont déterminés en fonction d'un certain nombre de paramètres tels que l'activité électrique du cerveau, la pression artérielle, les rythmes cardiaque et respiratoire.

Ces différents stades doivent être présents afin de bénéficier d'un sommeil de qualité, récupérateur, et pour être en forme au réveil. Chaque cycle a une durée de 90 minutes et leur nombre varie de quatre à six selon les besoins de l'individu. Il faut donc caler ces périodes de sommeil en fonction de ces besoins, mais aussi se coucher sans attendre, lorsque l'envie de dormir se fait ressentir.

III.1.1.1 Stades du sommeil :

a- Stades 1 et 2 (sommeil léger) :

Commence lorsque la personne se met au lit et après extinction de la lumière. Elle ferme les yeux et commence à somnoler. Le niveau de conscience passe de la veille active à la veille passive où se chevauchent des images et des pensées de la journée. Lorsqu'on atteint ce stade de "somnolence", les muscles commencent à se relâcher, la tension artérielle et le rythme cardiaque baissent. Un peu plus tard dans la nuit la personne est désormais endormie et passe au stade de sommeil léger 2.

b- Stades 3 et 4 (sommeil profond) :

On passe rapidement au cours de la nuit aux stades 3 et 4 où la respiration est ralentie, la tension artérielle et le rythme cardiaque sont bas, le tonus musculaire s'affaiblit de plus en plus. Au contraire, le système hormonal devient très actif, en effet au début de la nuit, il y a une sécrétion d'une grande quantité d'hormones de croissance, essentielles pour la régénération des tissus cellulaires.

c- Stades de sommeil paradoxal :

On observe au bout de 80 à 100 minutes après l'endormissement la première phase du sommeil paradoxal. Phase lors de laquelle la personne rêve, ainsi le cerveau devient très actif, à tel point que l'on pourrait penser que la personne est réveillée. On observe une intensification de la circulation sanguine, des petites perturbations du rythme cardiaque et de brefs arrêts respiratoires. Le corps est dit "paralysé" durant la phase de sommeil paradoxal, afin d'éviter que le corps n'exécute réellement ce que la personne fait dans son rêve. La première phase du sommeil paradoxal ne dure que quelques minutes puis vient un nouveau cycle d'environ 90 minutes, avec une phase de sommeil léger puis profond.

Lors du second cycle, la phase de sommeil paradoxal dure un peu plus longtemps, des cycles de 90 minutes se succèdent au fil de la nuit. À partir du second cycle, la durée des cycles léger et paradoxal s'allonge et inversement la durée du cycle profond se raccourcit jusqu'à disparition, au matin, lors du dernier cycle de sommeil.

Tous ces stades doivent être présents pour bénéficier d'un sommeil efficace et être en forme au réveil. Toutefois, il est admis que le sommeil profond représente la phase du sommeil la plus récupératrice (Oswald 1970). Chaque cycle a une durée de l'ordre de 90 min et leur nombre fluctue généralement entre quatre et six selon les besoins de l'individu. La durée totale de notre sommeil peut donc varier de 6 à 10 h, voire plus : ces différences d'une personne à l'autre sont normales, l'important étant de dormir suffisamment pour satisfaire ses besoins de récupération. Il faut donc caler ses périodes de sommeil en fonction de ses propres besoins, mais aussi aller se coucher sans attendre lorsque l'envie de dormir se fait ressentir (bâillements, paupières lourdes). À défaut, il faut alors attendre 1 h 30 pour éprouver à nouveau la sensation de sommeil (Walters 2002). De ce point de vue, il apparaît important d'apprendre aux sportifs à comprendre leur sommeil, de sorte qu'ils sachent reconnaître et exploiter au mieux les moments propices à leur endormissement.

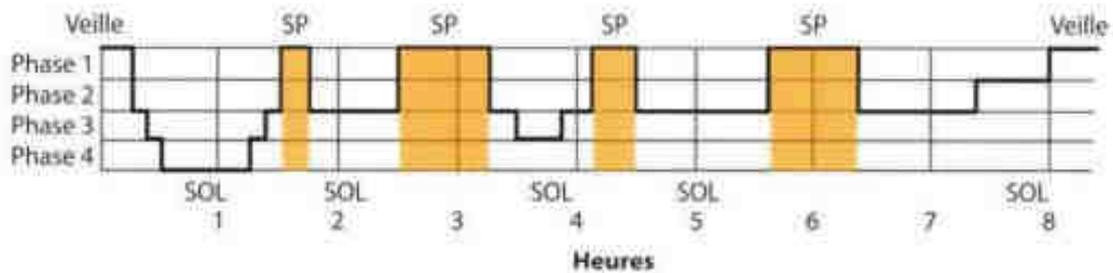


Figure 19 : cycles de sommeil au cours d'une nuit normale de 8 h (hypnogramme)

III.1.1.2 L'horloge biologique :

L'horloge interne (ou horloge biologique) représente l'ensemble des mécanismes biochimiques et physiologiques qui permettent une activité rythmique de l'organisme. Le rythme biologique de chaque individu est réglé sur ce qu'on appelle le rythme circadien proche de la durée d'une journée, soit 24 heures. Chez l'Homme, c'est l'hypothalamus qui impose le rythme circadien de l'organisme. Ce rythme est généré naturellement par l'organisme mais le corps nécessite une synchronisation avec le cycle jour/nuit pour éviter de se décaler un peu chaque jour. Pour se faire, il existe plusieurs synchroniseurs comme la température, l'activité physique mais surtout la lumière. Cette dernière est captée par les cellules photoréceptrices de la rétine de l'œil puis transmise jusqu'au cerveau afin de resynchroniser l'organisme sur 24h. Elle peut faire varier la sécrétion d'une hormone, la mélatonine, qui augmente en fin de journée pour favoriser l'endormissement et diminue le matin. L'information est ensuite retransmise jusqu'au cerveau, via les hormones, à des hormones périphériques internes de chaque organe (cœur, poumon, foie etc.). Ces horloges périphériques permettent d'optimiser le fonctionnement de chaque organe en faisant le relais entre l'horloge interne et l'environnement.

III.1.1.3 Influence du manque de sommeil sur les performances sportive :

Les sportifs en général sont sujets à des perturbations du sommeil qui peut aller d'une insomnie modérée à une perturbation totale de la nuit de sommeil. Cela peut engendrer chez le sportif des altérations sur plusieurs plans de sa vie et altérer les performances sportives. Parmi ces altérations on peut retrouver :

a-Altération de l'état émotionnel :

Une perturbation du cycle du sommeil induit une mauvaise humeur, une augmentation de l'irritabilité, de la fatigue mentale et perte de motivation. Le sportif est un sollicité de manière importante sur le plan psychologique lors des périodes d'importantes charges d'entraînement,

cela induit également une atteinte des mécanismes de défense de l'ego et engendre des stratégies de défense primitive et excessive (violence verbale voire physiques).

b-Fonctions psychomotrices :

Un manque de sommeil provoque une altération des performances dans une grande variété de tâches. Cette altération apparaît généralement dès 2 à 3h de manque de sommeil, même si cette baisse au niveau des performances évolue en fonction des tâches cognitives imposées. Ainsi les effets du manque de sommeil se font d'avantage ressentir lors de tâches répétitives et ennuyeuses.

Dès la première nuit de manque de sommeil, on constate une réduction de l'acuité visuelle, des capacités d'attention et de concentration, des prises de décisions et des vitesses de réaction. Au-delà de la baisse des performances, on observe une dégradation des capacités proprioceptives, source de pathologies classiques chez le sportif (comme les entorses).

Une baisse des capacités de mémorisation est observée lors de manque de sommeil, ce qui peut avoir un effet négatif sur les capacités d'apprentissage tactique.

c-La réponse hormonale et ses conséquences sur le plan musculaire

Une altération des mécanismes de réponse hormonale a été décrit lors d'une perturbation des cycles du sommeil, principalement, par une augmentation de la cortisolémie et une diminution de la sécrétion des hormones de croissance, qui se traduit par un effet délétère sur la fonction musculaire, par une augmentation du catabolisme protéique (cortisol) et une baisse de la synthèse protéique (hormones de croissances). Un respect du temps de sommeil, concourt ainsi au processus de régénération musculaire et limite les risques de blessures.

d-L'appétit :

Une baisse de l'hormone de la satiété est observée en cas de manque de sommeil et inversement une augmentation de la ghréline qui stimule la faim. Ainsi, cela favorise la prise de poids qui peut avoir des conséquences délétères sur les performances sportives.

e-Le restockage des substrats énergétiques :

Une diminution des capacités de resynthèse du glycogène chez le sportif a été observée lors de carence de sommeil, ce qui diminue les capacités de résistance de l'athlète à des charges de travail importantes.

f-Les défenses immunitaires :

On observe lors d'un manque de sommeil, une altération du taux des cellules dédiées à la défense immunitaire et de la sécrétion des cytokines anti-inflammatoires. Ainsi un respect des cycles du sommeil permet une meilleure réponse immunitaire.

Tableau 1 : Principales perturbations induites par le manque de sommeil sur le fonctionnement du système cardiorespiratoire
<https://books.openedition.org/insep/1361>

Intensité	Paramètres évalués	Effets de la privation de sommeil
Au repos	Consommation d'oxygène	↑↑
	Ventilation	↑
	Fréquence cardiaque	↓
	pH sanguin	↓
À intensité sous-maximale	Consommation d'oxygène	↑
	Ventilation	↑
	Fréquence cardiaque	↓
	pH sanguin	↔
À intensité maximale	Consommation d'oxygène	↓
	Ventilation	↓
	Fréquence cardiaque	↓
	pH sanguin	↔

Intérêt des siestes courtes :

Le sommeil peut être perturbé lors des périodes d'entraînement chargées (préparation physique de début de saison, préparation d'un combat de boxe...), dans ce cas-là, la sieste peut se présenter comme une alternative afin de gommer ou compenser ce manque de sommeil durant les nuits.

Cependant, il y'a certaines règles à respecter afin d'avoir une sieste réparatrice. La sieste **ne doit pas dépasser les 20 minutes** car au-delà on passe dans la phase de sommeil profond, et il est possible que le sportif se sente d'avantage fatigué après ce moment de repos. En effet, si la sieste dépasse les 20 minutes cela peut impacter le capital sommeil du sportif et favoriser l'insomnie.

La plage horaire idéale afin de réaliser une sieste se situe entre 12 et 15 heures.

III.1.2 Alimentation et sommeil :

III.1.2.1 Les aliments et boissons qui nuisent au sommeil :

Il existe divers aliments et boissons qui perturbent le cycle du sommeil. Parmi eux, on peut citer certains légumes dont la fermentation importante crée des ballonnements et parfois des douleurs abdominales. Ils sont à proscrire chez le sportif (exemple : choux, légumes secs).

Lors de régimes très restrictifs (exemple : pour la perte de poids avant une pesée pour un combat de boxe), il y'a création d'un déficit énergétique inadapté par le saut de repas qui induit alors une perturbation du sommeil par des réveils nocturnes.

Cependant, un apport excessif crée des perturbations de la digestion qui se traduit par une lourdeur abdominale. De ce fait, il apparaît nécessaire d'éviter au dîner les graisses cuites (fritures, panures, sauces ...) mais également les plats épicés.

Il faudra veiller aux horaires de dîner qui ne doit pas être trop tardif (jusqu'à 2 heures avant de se coucher). L'alcool peut avoir des effets positifs mais aussi négatifs sur le sommeil, il favorise l'endormissement cependant favorise les réveils nocturnes en deuxième partie de la nuit.

L'apport important voire excessif de protéines peut avoir un effet néfaste sur le sommeil. Les acides aminés apportés par l'alimentation participent à la synthèse hormonale. Parmi eux, le tryptophane qui est utilisé dans la synthèse de la sérotonine qui facilite le sommeil. D'autres acides aminés, en revanche, participent à la synthèse d'hormones dites excitatrices (adrénaline, noradrénaline, le GABA ...).

III.1.2.2 Hyperhydratation tardive et sommeil :

La qualité du sommeil d'un athlète peut être influencée par les stratégies hydriques qu'il met en place. Étant donné qu'il est essentiel de compenser les pertes hydriques provoquées par la sudation lors de l'entraînement ou de la compétition, certains athlètes peuvent en effet avoir tendance à consommer de grandes quantités de boissons tard dans la journée (Halson 2008). Si la nécessité de se réhydrater ne peut être remise en question, il convient toutefois de souligner que ce type de stratégie peut perturber la qualité du sommeil en obligeant l'athlète à se lever pour uriner durant la nuit. Dans ces circonstances, il convient d'expliquer aux athlètes qu'il est préférable de s'hydrater tout au long de journée et de privilégier des boissons riches en sodium post-exercice plutôt que d'essayer de compenser ponctuellement l'état de déshydratation.

Les boissons et aliments qui favorisent le sommeil :

Les aliments riches en tryptophane, précurseur de la sérotonine, hormone qui contrôle l'état de vigilance et favorise la sédation et l'endormissement, ont un effet bénéfique sur l'endormissement tel que le lait et autres produit animaux tel que la volaille.

Les repas riches en sucres lents stimulent la sécrétion de l'insuline, ce qui favorise l'absorption du tryptophane par le système nerveux afin d'être transformé en sérotonine. Parmi ces repas, on retrouve les pâtes, le riz complet, la pomme de terre, le pain complet.

L'utilisation de la phytothérapie peut apporter sa contribution à un meilleur sommeil, avec des plantes dont les propriétés sédatives sont constatées depuis des siècles, les préparations à base **valériane** entrent dans cette description car elle permet d'améliorer le sommeil sans engendrer d'effets secondaires et ainsi traiter l'insomnie et l'anxiété.

Les infusions à base **d'aubépine, passiflore, fleur d'oranger, camomille, houblon et tilleul** à consommer 30 minutes avant de se coucher, ont un effet bénéfique pour lutter contre l'insomnie. À noter, consommé en grande quantité, le tilleul devient un excitant.

III.1.3 Conseil à l'officine :

III.1.3.1 Les spécialités en phytothérapie :

Dans le traitement de l'insomnie légère, la phytothérapie présente un intérêt pour le pharmacien d'officine car elle ne présente pas d'effet indésirable, ni de risque de dépendance.

Parmi elles :

Euphytose Nuit :

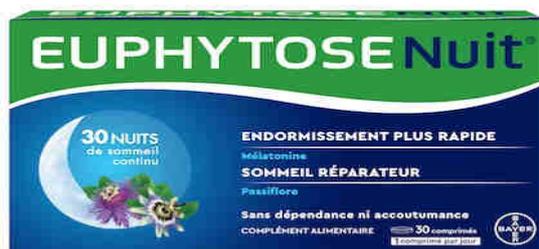


Figure 20 : Euphytose nuit : <https://www.euphytosegamme.fr/bien-dormir/euphytosenuit-comprimes>

Composition : complément alimentaire composé de 1mg de **mélatonine** qui permet une réduction du temps d'endormissement et de **passiflore** afin de retrouver un sommeil réparateur.

Conseil d'utilisation : 1 comprimé à prendre entre **30 min et 1h avant le coucher**, à avaler de préférence avec de l'eau ou une boisson chaude.

ArkoRelax sommeil fort :



Figure 21 : ArkoRelax sommeil fort

https://www.google.com/search?q=arkorelax+fort&tbm=isch&rlz=1C5CHFA_enFR

Composition : présente des comprimés composés de 2 couches.

- La première couche à **libération rapide**, composée de 1 mg de mélatonine, 150 mg extrait d'organe souterrain de **valériane** (facilite la détente) et de 100 mg extrait de partie aérienne de **passiflore**.

- La seconde couche à **libération progressive**, composée de 0,9 mg de mélatonine, de vitamine B6 ainsi que l'Eschscholtzia (permet une limitation des réveils nocturnes et une augmentation du sommeil réparateur).

Conseil d'utilisation : prendre 1 comprimé par jour 1 heure avant le coucher, à avaler avec un grand verre d'eau.

III.1.3.2 Les inducteurs de sommeil :

Malgré leur mauvaise presse, les inducteurs de sommeil ne sont pas contre-indiqués chez le sportif. Ils induisent le sommeil sans le prolonger au petit matin, ce qui présente un intérêt non négligeable pour le sportif. Leur utilisation doit rester occasionnelle avec un avis médical notamment dans certaines situations de stress (avant une compétition majeure) qui permet au sportif de bien dormir afin d'optimiser sa récupération et de maximiser chance de performer.

Les **hypnotiques**, appelés couramment **somnifères**, sont des médicaments qui facilitent le sommeil. Ils aident à s'endormir et peuvent également contribuer au maintien du sommeil, lorsque leur durée d'action est suffisamment longue. Les somnifères les plus prescrits aujourd'hui font partie de la famille des benzodiazépines et apparentés. Leurs prescriptions dépendent du trouble observé, de sa durée, de sa cause et du contexte. Ils sont délivrés uniquement sur prescription médicale.

Parmi les plus courant :

On peut classer les benzodiazépines selon leur durée d'action (voir tableau ci-dessous). Celles à **courte durée d'action** sont prescrites pour les insomnies de début de nuit ou contre les insomnies occasionnelles (durant deux ou trois jours, par exemple en cas de décalage horaire). Celles à **durée d'action moyenne** sont utiles en cas d'insomnies de milieu de nuit ou en cas d'insomnies à court terme (d'une durée d'une à trois semaines, souvent en lien avec des problèmes familiaux ou professionnels). Enfin, les benzodiazépines à **durée d'action prolongée** sont utilisées pour les insomnies de fin de nuit ou chroniques. Néanmoins, chaque personne possède une sensibilité particulière et la durée d'action d'un hypnotique peut varier d'un patient à l'autre.

La durée d'action des benzodiazépines hypnotiques (ou somnifères)		
Durée d'action courte	Durée d'action moyenne	Durée d'action longue
<ul style="list-style-type: none"> • Stilnox® et génériques • Imovane® et génériques 	<ul style="list-style-type: none"> • Havlane® • Noctamide® (lormétazépan) 	<ul style="list-style-type: none"> • Mogadon® • Nuctalon®

Ces médicaments sont efficaces, mais doivent être utilisés dans le respect de certaines règles. En effet, pris sur de trop longues périodes, ils provoquent une **accoutumance** (besoin d'augmenter les doses pour maintenir l'effet), voire une **dépendance**. Un traitement par des benzodiazépines débute progressivement pour permettre d'identifier la dose efficace la plus faible. Les personnes âgées sont souvent sensibles à des doses plus faibles que les plus jeunes. Il est important de respecter scrupuleusement la dose prescrite par le médecin.

III.1.3.3 3-La prise d'oligoéléments :

L'oligothérapie est une méthode thérapeutique qui emploie des oligoéléments : ce sont des substances indispensables à notre organisme dans le fonctionnement général du métabolisme et présentes en très faibles quantités.

Le principal oligoélément utilisé dans l'insomnie est le **lithium** qui peut être associé au magnésium pour aider à retrouver un sommeil réparateur lors d'un traitement de plusieurs semaines. Plusieurs spécialités sont disponibles :

- Les ampoules Oligosol®
- Les ampoules Granions®
- Les comprimés à sucer Oligostim®

La prise d'oligo-éléments est à faire à jeun ou avant les repas pour favoriser l'absorption au niveau du tube digestif.

Autres conseils à l'officine :

- Se coucher dès que les premiers signes d'endormissement apparaissent
- La température de la chambre doit être comprise entre 17 et 19°C, l'air de la pièce ne doit pas être trop sec pour que la respiration et donc le sommeil soient de meilleure qualité. Il est préférable d'utiliser une couette épaisse en hiver plutôt que d'augmenter la température du chauffage. Il faut aussi choisir une literie confortable.
- Se relaxer avant l'heure du coucher et ne pas mobiliser l'attention juste avant le coucher. Ainsi, l'activité physique et intellectuelle est à favoriser en première partie de journée mais à proscrire après 17 heures. De même, le fait de regarder la télévision au lit stimule le cerveau et est fortement déconseillé. Privilégier une activité calme facilitant l'endormissement.
- Les douches/bains chauds sont à éviter avant le coucher car la température corporelle baisse pendant la nuit et l'augmenter va à l'encontre de la physiologie du sommeil.
- Après une nuit courte, il est déconseillé de dormir toute la journée, le sommeil sera moins qualitatif et plus léger. Notre organisme se régulant selon un rythme binaire veille/sommeil, il y a un risque d'être déphasé. Il est alors conseillé de faire une sieste de 2h maximum et de se coucher plus tôt le soir suivant.

III.2 Hydratation :

L'eau est un élément essentiel dans la récupération et la performance sportive, l'apport journalier en eau est d'environ 3,5 litres/jour. L'origine des apports en eau se divise en deux, l'une provenant de l'alimentation et l'autre moitié est apportée par les boissons.

Ces apports hydriques ont une importance dans différents mécanismes physiologiques :

- Participation au bon fonctionnement du système cardio-vasculaire
- Maintien de la pression artérielle
- Régulation de la température corporelle

Les pertes en eau varient en fonction de l'effort, de l'individu et de l'environnement (température, humidité).

Pour permettre un bon fonctionnement de l'organisme et optimiser les performances sportives, il est nécessaire d'avoir une homéostasie des liquides corporels. Cependant, cet équilibre est perturbé par l'effort physique ainsi l'hydratation apparaît comme un facteur essentiel dans la récupération et les habitudes quotidiennes du sportif.

L'hydratation est également importante pour prévenir les douleurs musculo-ligamentaires et tendineuses, les entorses et claquages ainsi que les lithiases rénales. Elle permet en outre une amélioration de la vidange gastrique.

III.2.1 Les recommandations d'hydratation :

III.2.1.1 Les besoins hydriques chez l'adulte (population hors sportifs) :

Les apports recommandés en eau doivent permettre de compenser les pertes hydriques. Chez l'adulte, ces pertes sont estimées à 2,5 litres. Les recommandations européennes préconisent chez l'adulte un apport de :

- 0,75 L/jour d'eau provenant des aliments chez les hommes et 0,6 L/jour chez les femmes
- 1,75 L/jour d'eau provenant des boissons pour les hommes et 1,4 L/jour pour les femmes

Ces apports hydriques doivent toutefois être augmentés dans certaines situations, comme la grossesse et l'allaitement ou lors de la pratique d'un sport.

III.2.1.2 Zoom sur les sportifs :

Lors de la pratique d'une activité physique, les pertes en eau sont plus importantes, notamment du fait de la transpiration. Les apports hydriques doivent donc être majorés afin d'équilibrer ces pertes.

Plus l'effort est prolongé et la température extérieure élevée, plus les pertes sont importantes :

- 1 heure d'entraînement = 1 000 mL d'eau perdus
- 1 heure de compétition = 1 600 mL à 2 400 mL d'eau perdus

- 1 match de football = 4 000 mL d'eau perdus
- 1 marathon = 4 000 mL d'eau perdus

Il est donc essentiel de s'hydrater avant, après et même pendant l'effort physique, de manière régulière.

Risque de la déshydratation :

D'après une étude faite à l'INSEP (Institut National du Sport, de l'Expertise et de la Performance) en 2011, environ 47% des athlètes consomment moins d'1,5 litre d'eau par jour en dehors des entraînements avec pour conséquence une déshydratation.

Une déshydratation insuffisante peut entraîner :

- Sensation de soif altérée
- Persistance du pli cutané
- Sécheresse muqueuse buccale
- Aplatissement du réseau veineux
- Hypotension liée à l'hypovolémie
- Diminution du volume sanguin, tachycardie
- Fièvre
- Polypnée :
- Diminution du tonus musculaire
- Hypotonie des globes oculaires
- Certains troubles neuromusculaires (sommolence, trouble de la vigilance, agitation...)
- Oligurie, constipation, perte d'appétit, asthénie, désintérêt

Les effets de la déshydratation sur l'activité physique vont différer en fonction du type d'exercice. Une perte en eau de 2% fait chuter les performances de 20 %. Dans certains cas, l'effort peut s'arrêter brutalement lors d'activités physiques intenses et prolongées dans un environnement gênant la thermolyse (température élevée, absence de vent), en raison d'un accident, le coup de chaleur.

Le coup de chaleur peut se manifester par des prodromes (désorientation, agitation) et peut se manifester de manière plus brutale allant jusqu'au coma dont la seule prise en charge est le refroidissement actif.

Les effets de la déshydratation sont différents en fonction du type d'effort. On constate une diminution des capacités d'endurance en aérobie et anaérobie ainsi qu'une diminution de la force musculaire. On constate une diminution des capacités d'endurance en aérobie et anaérobie ainsi qu'une diminution de la force musculaire. La déshydratation altère des capacités cognitives à court terme mais la mémoire à long terme est préservée. Ces effets auront un effet néfaste sur la capacité de réflexion tactique par exemple sur la lucidité du sportif.

a-Réhydratation au cours et au décours de l'exercice :

La réhydratation comporte plusieurs étapes successives, dont la première est le comportement dipsyque, c'est-à-dire l'acte de boire, spontané ou imposé. Il précède les deux étapes du processus digestif que sont, la vidange gastrique et l'absorption intestinale. Une véritable stratégie de réhydratation doit avoir pour but d'optimiser chacune de ces étapes potentiellement limitantes.

b-Favoriser la prise de boissons :

Si la soif est un stimulus suffisant pour assurer l'équilibre de la balance hydrique dans les conditions standards de repos, il en est tout autrement au cours de l'exercice. Le retard qui existe dans l'apparition de la soif et la satiété qui intervient de manière anticipée au cours de la pratique d'un exercice conduisent à la constitution d'une déshydratation dite involontaire.

Il existe des facteurs capables de modifier le comportement dipsyque lors de l'exercice, la palatabilité des boissons est très importante.

Il faut prendre en compte les caractéristiques organoleptiques de la boisson telles que : sa turbidité, sa couleur, son odeur, sa température et son goût. Ces caractéristiques ont des effets sensoriels et peuvent accroître sa consommation si ressentie comme agréable ou au contraire limiter sa consommation si désagréable.

Le type d'exercice influence la prise de boissons. En effet, plusieurs facteurs entrent en jeu lors d'un exercice continu la coordination des mouvements, la sensation de plénitude gastrique, peuvent limiter son désir conscient de boire ; de plus les débits ventilatoires élevés sont une source importante de gêne pour l'ingestion. La prise de boisson est à l'évidence plus facile à accomplir pour le cycliste que pour le coureur. La course à pied représente l'activité physique la plus pénalisante pour la réhydratation.

c-Favoriser la vidange gastrique :

Il existe plusieurs facteurs qui peuvent modifier la vidange gastrique, on peut citer en premier des facteurs physico-chimiques liés à la boisson. Parmi ces facteurs, le **volume** jouerait un rôle important dans le contrôle de la vidange gastrique.

Le débit d'évacuation gastrique augmente linéairement jusqu'à un niveau de remplissage de 600 à 1000 ml. Lors de l'ingestion d'un volume unique important de liquide cela provoque une vidange gastrique qui suit une courbe semi-exponentielle comportant deux phases, rapide et tardive plus lente. Ainsi, la phase initiale (rapide) n'est pas altérée avec le temps.

Pour un côté pratique, l'ingestion d'une à deux gorgées toutes les 5 à 10 minutes d'effort est conseillée aux sportifs car l'ingestion répétée de grands volumes à intervalles rapprochés ralentit la vidange gastrique et favorisent les douleurs abdominales.

Au côté du volume, l'**osmolarité** des boissons représente un facteur inhibant la vidange gastrique, limitant ainsi la disponibilité en eau de l'organisme et a justifié l'intérêt porté à l'utilisation de polymères de glucose et de solutions de disaccharides qui permettent de réduire l'osmolarité des boissons tout en préservant leurs charges énergétiques.

La vidange gastrique peut être modulée très légèrement par la température des boissons mais également par la température extérieure.

d-Favoriser l'absorption intestinale :

L'absorption hydrique nette au niveau jéjunal est favorisée par les solution hypotonique ou isotonique d'hydrates de carbone comprenant ou non des électrolytes. Le mélange de plusieurs glucides permettrait d'augmenter l'absorption hydrique, en raison de la mise en jeu simultanée de plusieurs mécanismes de transferts entérocytaires.

L'utilisation de boissons hypotoniques (150 à 250 mOsm/l) ou isotoniques (280 à 320 mOsm/l) dont l'osmolarité est proche de celle retrouvée au niveau du sang, donc des concentrations en minéraux participant à la pression osmotique (sodium, chlorure) identique ou légèrement inférieure à celles retrouvées dans les liquides de l'organisme.

Il existe un lien entre le transport de glucose, de sodium et l'eau. Sous certaines concentrations, l'association glucose-sodium entraine une absorption hydrique augmentée par rapport à l'eau seule. L'ajout dans certaines boissons énergisantes d'électrolytes comme le sodium permet une meilleure absorption passive de l'eau dans les cellules.

Avec les solutions hypertoniques (500 à 600 mOsm/L), telles que le cola, jus d'orange, qui ont une concentration supérieure au sang vont créer des troubles digestifs et une déshydratation peut survenir par une diminution de l'absorption intestinale de l'eau car ces boissons vont créer un appel d'eau vers le tube digestif. Leur utilisation est limitée dans les exercices prolongés accomplis dans le froid à de faibles volumes.

III.2.1.3 Stratégie d'hydratation :

A-Avant l'exercice :

En amont d'un exercice physique, le sportif doit se trouver en état de normo-hydratation car une déshydratation préalable même minime augmente les risques cardiovasculaires et altère la performance.

En pratique, il est conseillé de prendre des petites quantités de boissons selon l'appétence naturelle afin d'aborder l'exercice dans un état de normo-hydratation. Pour cela, on va favoriser une hydratation active avec 0,5L d'une boisson iso-osmotique à prendre 40 min avant l'effort ce qui tend à augmenter le débit sudoral et à limiter les perturbations induites par l'absence d'hydratation pendant l'exercice.

La constitution d'un état d'hyperhydratation préalable à l'effort physique a longtemps été évoquée, cependant il se heurte à deux phénomènes l'augmentation importante de la diurèse et l'hypotonicité plasmatique, qui rendent cette hypothèse obsolète.

b-Au cours de l'exercice :

Au cours de l'effort, la réhydratation joue un rôle majeur dans les performances sportives notamment dès les exercices prolongés. Pour cela, il faut s'hydrater avant que la sensation de soif n'apparaisse laquelle n'est pas un bon indicateur de déshydratation dans ce cas. Le volume ingéré doit être fixé individuellement et ajusté à la tolérance de chacun en essayant de compenser totalement les pertes.

Pour cela les pertes doivent être estimées en fonction de plusieurs paramètres :

- Caractéristiques de l'exercice (intensité, durée)
- Conditions environnementales (température relative)
- Facteurs individuels (niveau d'entraînement et d'acclimatation à la chaleur)

Un apport d'hydrates de carbone au niveau des boissons pendant l'exercice prolongé permet d'augmenter les possibilités d'endurance ou à maximiser la capacité de travail dans la suite de l'exercice.

La concentration d'hydrate de carbone est déterminée en fonction de l'objectif car il n'existe pas de boissons adaptées à tous types d'efforts physiques et conditions climatiques.

c- Après l'exercice :

La réhydratation après l'effort ne doit pas se faire uniquement avec de l'eau pure. Les pertes sudorales en électrolytes doivent également être remplacées parallèlement aux pertes hydriques. La boisson de récupération doit contenir du **sodium** et du **potassium** (exemples : Arvie® ou St Yorre®).

Le volume consommé doit être plus important que le volume des pertes sudorales, environ 150 % (il faut donc boire un volume d'eau équivalent à 1,5 fois la perte de poids lors de l'effort). L'ingestion de solution d'hydrates de carbone permet de restaurer la capacité d'exercice plus efficacement que l'eau seule. L'eau est également un vecteur pour l'apport d'hydrates de carbone indispensable à la resynthèse du glycogène.

En conclusion :

- **Avant l'effort** : pour le maintien de la glycémie et de l'hydratation
- **Pendant effort** : pour l'apport de macro et micronutriments, la compensation des pertes hydriques et maintenir la performance
- **Après l'effort** : pour une récupération accélérée et les restaurations hydriques, glucidiques et en micronutriments

En fonction du type d'effort à fournir la concentration sera différente :

- Dans le cas des épreuves de **longue durée** à climat modéré sans pertes hydriques importantes, il faudra privilégier les boissons à concentration élevée en hydrates de carbones essentiellement à base de sucrose, maltose ou maltodextrines de manière à garder l'osmolarité inférieure à 400 mOsm/L.

- Dans le cas des épreuves en **ambiance chaude**, la boisson nécessitera une concentration entre 30 à 60 g/L d'hydrates de carbones, ajouté à cela il est recommandé d'associer aux hydrates de carbone du chlorure de sodium (1,2g/L) car cela aurait un effet favorable sur le maintien du volume plasmatiques, ce qui permettrait de limiter les dérives de la fréquence cardiaque et de la température interne au cours d'un exercice effectué en ambiance chaude.

III.2.1.4 Les différents types d'eau et récupération :

Il existe plusieurs types d'eau possible à conseiller au sportif afin d'améliorer leur récupération et optimiser ainsi leurs capacités de performance :

Les eaux « dures », enrichies en **bicarbonates**, sont importantes dans les 8 heures après l'effort pour reminéraliser l'organisme et pour neutraliser les acides formés à l'effort. Cependant, ces eaux peuvent favoriser des troubles digestifs chez des personnes déshydratées. On recommande donc d'en consommer peu à la fois mais souvent.

Les eaux riches en **sulfates** sont à conseiller avec prudence car l'ingestion d'une quantité trop importante peut induire des diarrhées soudaines.

On conseillera aussi au sportif, de temps en temps, des eaux minérales riches en **calcium** (fixation sur les os, coordination motrice) et en **magnésium** (fatigue, battements des paupières, crampes).

- Eau riche en fluor : Quezac®.
- Eau riche en calcium : San Pellegrino®, Salvetat®.
- Eau riche en sulfates : Contrex®, Hépar®.
- Eau riche en sodium : Rozana®, Vichy Saint Yorre®.
- Eau riche en bicarbonates : Badoit®, Vichy Celestin®.
- Eau riche en magnésium : Quezac®, Hépar®.
- Eau de composition équilibrée : Vittel®, Evian®, Thonon®.

Ces eaux sont parfaites pour accompagner le sportif dans sa vie quotidienne.

Eaux peu minéralisées : Volvic®, Mont Blanc®, Luchon®. Ces eaux sont idéales pour préparer des boissons d'effort.

Conclusion :

L'hydratation pour les sportifs, quel que soit le niveau, est un facteur majeur qui influe sur la récupération et par conséquent sur les performances du sportif. La compréhension des

mécanismes de déshydratation est importante afin d'optimiser les chances de performance des sportifs.

III.2.1.5 Recommandations en faveur de l'hydratation en récupération :

- Remplacer le plus rapidement possible les liquides corporels perdus à l'exercice.
- Se peser avant et après, afin de déterminer les besoins hydriques de l'athlète. Le remplacement complet des liquides ainsi que leur rétention ne peuvent être atteints qu'en ingérant de 150 à 200 % du déficit hydrique mesuré (Shirrefs *et al.* 1996).
- La réhydratation des athlètes, guidée par une sensation de soif, est toujours insuffisante à une compensation des pertes hydriques liées à la pratique de l'exercice. Dans ce cas, une eau fraîche de 12-15 °C et légèrement aromatisée peut favoriser véritablement l'augmentation des apports hydriques en comparaison avec d'autres boissons (eau froide, eau tiède, eau minéralisée) [Hubbard *et al.* 1984]. La palatabilité des boissons de réhydratation est importante pour stimuler la prise de celles-ci, mais à chaque fois que cela est possible, il faut privilégier l'apport des électrolytes dans l'alimentation solide, afin de réduire la concentration sodée de la boisson (Beckers *et al.* 1992).
- Une restauration plus rapide de la balance hydrique est atteinte si l'on ingère rapidement de grands volumes (plutôt que de petits volumes de liquide), sur une plus longue période. Après cette ingestion, il est préconisé de fractionner les prises au rythme de 200 ml toutes les 15 minutes (Kovacs *et al.* 2002).
- Si l'athlète dispose d'au moins 6 heures avant l'entraînement suivant, l'équilibre hydrique peut être atteint par une ingestion combinée d'eau et d'aliments solides (Galloway 1999).

- Si le laps de temps entre deux entraînements ou compétitions est trop court pour permettre l'ingestion et la digestion d'un repas, et que la réhydratation doit être obtenue par la seule ingestion de liquide, la solution devra contenir au minimum 50 mmol.l⁻¹ (1,15 g.l⁻¹) de sodium et, dans la mesure du possible, une petite quantité de potassium (Maughan et Shirrefs 1997) si celle-ci n'est pas apportée par l'alimentation.

- De plus, une concentration en glucides d'environ 2 % peut améliorer l'absorption intestinale d'eau et du sodium (Brouns *et al.* 1998).
- L'ingestion de tablettes de sel est à proscrire en raison de l'hypertonie qu'elles entraîneraient dans la lumière intestinale, conduisant à l'augmentation des sécrétions digestives et la survenue possible de troubles digestifs (Bigard et Guézennec 2003).
- L'ingestion de caféine en récupération devra être évitée, car elle a pour effet d'augmenter l'excrétion d'électrolytes dans les urines (Mg^{2+} , Na^+ et Ca^{2+}) [Brouns *et al.* 1998].
- L'ingestion de boissons dont la concentration en glucose excède 2,5 g/100 ml ralentit la vitesse de vidange gastrique. L'adjonction de chlorure de sodium ou de potassium, souvent en excès, dans les boissons de l'exercice, n'a aucune conséquence sur la vitesse de vidange gastrique (Owen *et al.* 1986).
- Les concentrations en minéraux permettant une restauration optimale des volumes plasmatiques avec une osmolalité stable devraient être de 0,5 à 0,6 g.l⁻¹ pour Na^+ , de 0,7 à 0,8 g.l⁻¹ pour Cl^- , et de 0,1 à 0,2g.l⁻¹ pour K^+ (Lamb et Brodowicz 1986).

III.3 Massage et récupération :

La pratique des massages provient du besoin naturel et intuitif de frotter une partie douloureuse du corps afin de favoriser la performance ou la récupération après un exercice fatiguant.

Il est admis que les massages apportent de nombreux bénéfices, comme une augmentation du flux sanguin, une diminution de la tension et de l'excitabilité musculaire, ou encore une augmentation de la sensation de bien-être. De fait, les massages sont très utilisés pour améliorer la récupération entre deux séances d'entraînement, en préparation ou à la suite d'une compétition.

III.3.1 Les techniques de massages :

Les massages consistent en la manipulation des tissus par des pressions et pétrissages visant à améliorer la santé et le bien-être.

On retrouve deux types de massages : manuels et mécaniques.

III.3.1.1 1-1 massages manuels :

Ce type de massage peut se diviser en plusieurs techniques successives ou séparées constituant des gestes suivants :

a-Effleurages : simples glissements de contact, sans intensité de pression, utilisé le plus souvent en début de séance.

b-Pressions : compression modérée, glissée ou statique, des tissus mous contre un plan sous-jacent résistant. Les effets attendus sont divers notamment une augmentation de la circulation sanguine et lymphatique, amélioration du drainage et une diminution des œdèmes.

c-Pétrissages : consiste à l'isolation d'un volume de tissu, cutané ou musculaire, et le soumettre à une succession de pression-dépression. Cette technique serait efficace pour étirer des tissus contractés ou adhérents, lutter contre les crampes musculaires.

d-Tapotements : le but est de provoquer des réflexes cutanés et une vasodilatation locale. Permet une augmentation du tonus musculaire, la dispersion des fluides interstitiels dus aux dommages musculaires et aux processus inflammatoires.

e-Vibration : pression statique intermittente d'intensités et fréquences variables.

f-Palper-rouler : technique qui consiste à mobiliser le tissu cutané par un mouvement de roulage et de palpation. Permet d'éliminer les surplus d'eau et de graisse sous cutanés.

III.3.1.2 1-2 Massages mécaniques :

Il existe plusieurs appareils créés afin de reproduire les gestes et effets des massages manuels. On retrouve les appareils de type "roller" qui reproduisent le geste de palper-rouler, il forme un pli cutané et agit directement sur les tissus ; appliqué directement sur la peau ou avec combinaison spécifique.

Il existe des lits à eau pour lesquels l'eau est utilisée comme un élément massant, par projection sur la peau au travers d'une toile en caoutchouc. Enfin, les appareils de compression pneumatique intermittente conçus afin d'améliorer le retour veineux et le drainage lymphatique.

III.3.2 Effet des massages sur la récupération :

III.3.2.1 Effets des massages avant ou entre plusieurs exercices consécutifs :

Malgré son utilisation fréquente, le massage stimulant avant l'effort n'aurait aucune efficacité physiologique prouvée sur la performance musculaire. Au contraire, l'étirement des muscles lors du massage et son action réflexe sur les neurones moteurs semblent être à l'origine d'une diminution de la force musculaire quelques minutes après la manœuvre. Le sujet reste

néanmoins débattu et la littérature actuelle n'est pas suffisante pour trancher sur l'intérêt du massage pré-compétition.

Toutefois, les sportifs les apprécient et n'hésitent pas à solliciter leur physiothérapeute avant d'entrer sur le terrain ou commencer une course. Cela peut avoir un effet placebo sur le mental du sportif. C'est également un moyen de déstresser : son impact psychologique n'est donc pas à négliger.

III.3.2.2 Effets des massages après l'exercice :

La récupération est extrêmement importante pour les sportifs de bon niveau qui enchaînent souvent les compétitions à un rythme soutenu. C'est pourquoi tout est mis en œuvre pour que les sportifs soient au meilleur de leur forme tout au long de la saison. Le massage figure donc en bonne position dans leur programme.

Après l'effort, l'intérêt des massages est de réduire la fatigue et, ainsi, le temps de récupération, en particulier pendant les périodes de compétition. Leur effet relaxant, tant physique que psychique, serait également bénéfique pour éliminer le stress engendré par la compétition (Cafarelli et Flint 1992).

La majorité des athlètes sont convaincus de son potentiel pour alléger les douleurs musculaires post effort (Howatson & Van Someren, 2008).

III.3.2.3 Conseils à l'officine :

En ce qui concerne les massages, le pharmacien d'officine possède un panel important de produits utilisés dans ces cas afin de les conseiller au patient désirant récupérer plus rapidement.

a-Huile de massage à l'Arnica (Weleda®) : elle facilite la préparation et la récupération sportive. L'extrait d'arnica soulage, les huiles de tournesol et d'olive garantissent une glisse optimale, les huiles de lavande et de romarin renforcent les effets tonifiants et décontractants du massage.

À appliquer avant et/ou après l'effort sur une peau saine puis masser pour faire pénétrer.



Figure 22 : Huile de massage à l'Arnica (Weleda®) <https://universpharmacie.fr/1660-weleda-huile-massage-arnica-200ml.html>

b-Lotion de massage baume du tigre : À appliquer 3 à 4 fois par jour, avant, pendant et après la pratique de sport, elle offre une sensation de chaleur suivie d'une sensation de froid qui aide à relaxer par le massage. Attention, ce produit est contre-indiqué chez les enfants de moins de 7 ans, les femmes enceintes ou allaitantes. Il peut être mortel chez les enfants en cas d'ingestion. L'effet indésirable principal est une réaction allergique.



Figure 23 : Lotion de massage baume du tigre <https://www.aroma-zen.com/therapies-naturelles/phytotherapie/baume-collyre-teinturemere/baume-tigre-rouge-30g-tiger-balm-p-4116.html>

c-Friction arnica (Puressentiel®) : cette friction allie l'arnica et 14 huiles essentielles ; elle favorise la relaxation musculaire, aide à décontracter, à détendre et à diminuer la raideur. Elle a une action défatigante et tonifiante, soulage et apaise les zones sensibles, facilite la préparation et la récupération sportive.



Figure 24 : <https://www.pharmarket.com/puresSENTIEL/articulations-muscles/articulations-et-muscles-friction-arnica-200ml-p6197>

d-Gel défatiguant Sport Relax (Akileïne®) : il agit sur les causes de la fatigue musculaire par sa combinaison d'acides aminés, de magnésium et de potassium favorisant l'élimination des toxines accumulées lors de l'effort. Il est à appliquer après le sport en massage léger sur les muscles sollicités. En cas de sensation de fatigue musculaire plus prononcée, il faut renouveler l'application le soir et le lendemain matin.



Figure 25 : Gel défatiguant Sport Relax (Akileïne®) <https://www.soin-et-nature.com/fr/9784-akileine-sport-gel-relax-anti-fatigue-75ml>

III.3.3 La cryothérapie :

Le cerveau et en particulier, la région de l'hypothalamus, contrôle la régulation thermique. L'objectif est de maintenir la température corporelle constante à 37°C. Lors d'une exposition volontaire et rapide de l'organisme au froid, le cerveau va réagir et « ordonner » une réaction de défense en diminuant la fréquence cardiaque, en augmentant la tension artérielle et en effectuant une vasoconstriction au niveau des vaisseaux.

Après le retour à la température normale, l'organisme va se réguler de façon symétrique en favorisant ainsi la récupération. Le froid est utilisé en médecine du sport pour améliorer la prise en charge des blessures grâce à un choc thermique faisant passer la température cutanée de 35°C à 12°C (sans descendre en dessous de 7°C).

L'application du froid a de nombreux effets positifs : analgésique, vasoconstricteur (contracte les vaisseaux et limite la diffusion de l'inflammation), diminution des œdèmes (limite le gonflement) et reconstitution plus rapide des cellules musculaires lésées. Ces modifications physiologiques permettent de soulager la douleur en cas de blessure (tendinite, entorse, lésions musculaires), d'améliorer la circulation sanguine pour réduire les œdèmes, de favoriser l'oxygénation des muscles pour accélérer la récupération et de réduire les méfaits du surentraînement en particulier les courbatures.

III.3.3.1 La cryothérapie locale classique :

La cryothérapie locale classique s'effectue par l'application sur la peau d'un objet froid afin d'abaisser les températures cutanées et musculaire. L'application se fait grâce à une poche ou vessie contenant des glaçons, selon les moyens à disposition. L'application de la glace peut se faire de manière statique ou dynamique (par massage sur une région plus étendue).

Il est conseillé d'utiliser un tissu entre le sac et la peau, la durée d'application doit durer au minimum 15 à 20 minutes et ne pas dépasser les 30 minutes.

Dans le cadre de l'application dynamique, l'utilisation d'un tissu n'a pas d'intérêt. Cette application concerne une plus grande surface d'action, son intérêt majeur est de provoquer une baisse de température bien plus rapide, son application ne doit pas dépasser les 30 minutes.

D'autres techniques locales peuvent être utilisées : les packs de gel cryogène, les poches de froid instantané, les massages au cube de glace.

Ces techniques présentent des risques et des contre-indications, le risque majeur concernant ces techniques sont les **brûlures cutanées**. Les contre-indications sont diverses et doivent être diagnostiquées par un médecin. On peut citer la cryoglobulinémie, syndrome de Raynaud, troubles de la sensibilité cutanée.

Le pharmacien d'officine dispose de plusieurs produits permettant d'utiliser cette technique de cryothérapie, parmi eux :

a-Bombe de froid : soulage les traumatismes musculaires et ligamentaires. Le froid va diminuer la douleur et réduire l'inflammation. À appliquer le plus rapidement possible sur le muscle ou le ligament lésé.

Exemples : Nexcare® ou Sport Akileine®



Figure 26 : Nexcare® ou Sport Akileine® <https://www.amazon.fr/Nexcare-328443-Coldhot-Spray-froid/dp/B00TTX1LU2>

b-Poche de froid instantané : coussin thermique à usage unique. Soulage la douleur par un froid instantané qui favorise la diminution des inflammations de petite traumatologie.

Exemples : Nexcare® ou Tensocold®



Figure 27 : Nexcare® ou Tensocold®

c-Pack de froid : existe de différentes tailles et de différentes formes afin d'épouser au mieux la forme de la zone lésée. La poche est réutilisable pour le froid ou le chaud.

Exemples : Nexcare® ou Physiopack®

III.3.3.2 Cryothérapie gazeuse et cryothérapie à air froid :

La cryothérapie gazeuse a pour principe de pulvériser de l'azote liquide ou du CO₂ pour obtenir un choc thermique rapide.

La cryothérapie à air froid se réalise à l'aide d'un appareil qui refroidit l'air ambiant avant pulvérisation. Une température de -30 degrés est nécessaire afin de provoquer un choc thermique.

En comparaison avec la cryothérapie locale, ces deux techniques permettent d'augmenter différents effets parmi eux :

- Effet anti-inflammatoire
- Effet vasomoteur
- Myorelaxants
- Analgésique

La thérapie gazeuse s'applique sur une zone précise, il est nécessaire de protéger les plaies et de vérifier si la peau est sèche. La durée de pulvérisation doit être courte et il convient de garder la température entre 2 et 5 degrés pour une durée comprise entre 30 secondes et 1 minute 30 secondes (en fonction du tissu à traiter) en cas d'utilisation d'azote liquide ou de CO_2 , et en ce qui concerne l'utilisation de l'air froid pulsé, la durée à respecter est de 1 à 6 minutes.

L'application de ces techniques vise en premier lieu la reprise de l'effort après un traumatisme articulaire, en phase de réathlétisation ou rééducation, cependant leur utilisation a été étendue au traitement des contractures ou à la récupération d'un exercice mécaniquement très traumatisant pour le muscle. L'application peut être répétée 2 ou 3 fois le premier jour et une fois par dans les 4-5 jours.

Comme pour la cryothérapie locale, le principal risque se résume à des brûlures cutanées localisées.

III.3.3.3 CCE : Cryothérapie Corps Entier :

Les cabines de cryothérapie en froid sec et intense à -110°C pendant 2 à 4 minutes maximum permettent de faire descendre la température cutanée à environ 10 degrés. Protocole : Après une adaptation dans une pré chambre à -60°C pendant 30 secondes, le sportif entre dans la cabine en maillot de bain, chaussettes spéciales et gants en réalisant des petits mouvements des membres puis à la sortie retour de nouveau 15/30 secondes dans la préchambre à -60°C . La surveillance est stricte et le protocole peut être interrompu à tout moment en cas de problème. Les dangers sont l'hypothermie et les brûlures au froid.

En plus de ces différentes techniques, le pharmacien peut insister également sur la prise d'une douche froide. Après des efforts intenses ou des efforts réalisés sous des chaleurs extrêmes, cette douche permet un refroidissement de l'organisme. Celle-ci va diminuer la perception de la fatigue et peut limiter les inflammations, atténuant ainsi les douleurs.

III.3.4 Thermothérapie :

La thermothérapie est l'utilisation de la chaleur sur la peau à des fins thérapeutiques, grâce à des corps matériels de température au-dessus des niveaux physiologiques utilisant la propagation de la chaleur par conduction. Les principaux effets annoncés de la thermothérapie sont les suivants :

- Action analgésique
- Amélioration de la nutrition et de l'oxygénation cellulaire
- Action contre les phénomènes de courbatures
- Action antispasmodique
- Amélioration des défenses du corps par une action bactéricide
- Optimisation du drainage lymphatique
- Processus de réparation tissulaire favorisés
- Processus de réparation tissulaire favorisés
- Augmentation de l'activité métabolique et une baisse de l'activité des fuseaux neuromusculaire et de la sensibilité à l'étirement.

Les applications de la thermothérapie se présentent sous diverses formes : les algues, paraffine, pack de gel (hot-pack).

Les algues : sont des agents physiques semi-liquides formés par un mélange d'eau minérale, d'eau de mer et de substances, organiques ou inorganiques résultant de processus biologiques. Elles sont utilisées comme agents récupérateurs pour des traitements locaux.

La paraffine : hydrocarbure, moins dense que l'eau, solide, inodore, opaline, dont la capacité de conservation de la chaleur est moins importante que les algues due à sa densité plus basse.

Les hot-packs : sont des sacs de gel chimique pouvant être chauffés au micro-onde.

Les conditions d'utilisation sont les mêmes pour les trois types formes, il est nécessaire de les respecter afin d'éviter certaines conséquences plus ou moins graves :

- Sur peau sèche

- Pas d'application directe sur la peau
- Vérifier l'absence de plaies, inflammation, infections, brûlures.
- Éviter de couvrir la tête
- Respecter une inactivité du sportif pendant l'application

III.3.4.1 Les contre-indications :

La thermothérapie et l'utilisation de la chaleur sont déconseillées pour traiter les contusions, les élongations, les déchirures musculaires et les douleurs articulaires. Ces affections nécessitent au contraire l'application de froid. L'emploi de la thermothérapie est contre-indiqué aux personnes souffrant d'insuffisance veineuse, d'affections cutanées et de plaies ouvertes. Il existe peu d'effets secondaires à la thermothérapie, mais en cas de doute, il est conseillé de solliciter un avis médical. Cette technique est déconseillée pour traiter les déchirures musculaires, élongations, contusions et douleurs articulaires car nécessite un traitement par le froid.

III.3.4.2 Conseils à l'officine :

a-Les patchs chauffants : ils permettent de soulager la douleur par leur action longue Durée. Une fois appliqué sur la peau, le patch chauffant diffuse une chaleur constante pendant 8 heures, permettant de décontracter les muscles douloureux par une meilleure oxygénation et de soulager les douleurs articulaires.

Exemple : Thermacare® du laboratoire Cooper et Actipoché® du laboratoire Cooper



Figure 28 : <https://www.newpharma.fr/thermacare/519237/thermacare-patch-auto-chauffant-multi-zones-douleurs-musculaires-3-pieces.html>



Figure 29 : <https://www.autourdelapharmacie.fr/actipoche/10884-cooper-actipoche-patch-chauffant-z-cible-3-patchs-3614819995791.html>

b-Les coussins thermiques : petits ou grands modèles, ils ont des formes spécifiques pour s'adapter aux différentes parties du corps courbaturées : cervicales, trapèzes, cuisses, mollets etc.

c-Les ceintures chauffantes : les agents thermoactifs contenus dans les patchs chauffants produisent naturellement de la chaleur au contact de l'air. Une fois placés dans la ceinture, les patchs diffusent une chaleur constante pendant 8 heures. Celle-ci augmente le flux sanguin ; ce qui facilite l'élimination des déchets métaboliques et favorise l'oxygénation des tissus. De plus, la chaleur améliore l'élasticité musculaire. Les muscles sont donc décontractés, les douleurs articulaires soulagées et la mobilité ainsi améliorée.

III.3.5 La pressothérapie :

Les méthodes de pressothérapie ont apporté les preuves de leurs efficacités dans le traitement de l'insuffisance veineuse. Le sport reproduit les mêmes contraintes pouvant détériorer le système veineux, il semble judicieux d'utiliser les dernières améliorations dans le traitement des maladies veineuses à la pratique sportive.

La plupart des sports combinent des effets favorisant la stase veineuse, comme :

- Traumatismes répétitifs causant des hématomes et micro-thromboses
- Positions prolongées, associées à la contraction musculaire, ou les équipements spéciaux compressifs ralentissant le retour veineux.
- Les à-coups d'hyperpression veineuse lors des sports à impulsion

- Le blocage du retour veineux lors d'efforts brutaux, explosifs, statique en respiration bloquées ou apnée.

L'utilisation de la contention-compression élastique a différents objectifs pour améliorer la récupération :

- Diminuer la stase et dilatation veineuse
- Restaurer la microcirculation
- Améliorer l'efficacité de la pompe musculaire
- Améliorer le retour veineux
- Augmentation de la pression interstitielle autour des capillaires afin de faciliter le passage du fluide excédant dans la circulation veineuse

III.3.5.1 La contention :

Se définit comme « l'ensemble des effets provoqués par l'application sur un membre (inférieur ou supérieur) d'un textile non élastique ou à défaut à allongement court. La contention agit de manière passive sur un segment de membre : c'est le cas du bandage non élastique qui va s'opposer à l'augmentation de volume uniquement à l'effort.

Les bandes exercent une pression faible au repos. Cependant, lors d'une activité musculaire, elle est en antagonisme à l'augmentation de la pression qui vient buter sur la structure extensible de la bande ce qui augmente la pression. La jambe est ainsi contenue et non compressée.

La contention est nulle au repos et efficace à l'effort, on parle de pression de travail et de repos.

III.3.5.2 La compression :

Se définit comme « l'ensemble des effets provoqués sur une jambe par un textile élastique ». Dans ce cas, elle agit de manière active au repos et à l'effort sur le membre. Il y a une action active et constante des forces de rappel des fibres élastiques du tissu.

Mécanisme de la compression :

a-La compression dégressive

La compression dégressive consiste à appliquer une pression homogène sur les membres inférieurs, plus forte au niveau de la cheville et diminuant progressivement jusqu'au mollet. Cette action va permettre d'accroître la pression sanguine et de stimuler le retour veineux

pour une meilleure oxygénation du sang. Permet d'optimiser la récupération pendant les phases de repos et de limiter l'apparition de crampes.

b-La compression progressive

Contrairement à la compression dégressive, la compression progressive propose un maximum de pression au niveau du mollet et des pressions plus faibles au niveau de la cheville sans, pour autant, exercer d'effet garrot au niveau du mollet. Par rapport à la compression dégressive, on retrouve le gradient de pression. On retrouve une pression de 7-8 mmHg au niveau des chevilles et on atteint 20-25 mmHg au niveau du mollet (20 à l'effort, 25 dans les deux heures qui

L'étude de (couzan 2006) compare les deux modes de compression veineuse et prouve la supériorité de la compression progressive sur la réduction de la sensation de lourdeur et de fatigue chez des patients présentant une insuffisance veineuse. Il est important de préciser qu'il ne s'agit pas d'une population de sportifs. Sur la base d'imageries par résonance magnétique (IRM), cette étude démontre qu'il est inutile d'exercer des pressions fortes au niveau de la cheville. Les pressions exercées par le textile ne peuvent en effet atteindre de manière efficace les veines rétro-malléolaires, tibiales postérieures et fibulaires, alors que par ailleurs les veines du dos du pied sont très facilement écrasées. De plus, pour être efficace sur le réseau veineux musculaire profond, les pressions appliquées au niveau du mollet doivent être au minimum de 20 mm Hg (la pression exercée par des chaussettes de compression dégressive classique de classe 2, n'étant que de 14 mm Hg, n'agirait que sur le réseau veineux superficiel et sous-cutané).

La compression progressive est également validée comme plus facile à utiliser (enfilage des chaussettes) et plus confortable que la compression dégressive. Même si des conflits d'intérêts sont évidemment à prendre en compte, la rigueur méthodologique de l'étude lui confère un très bon niveau de preuve.

Sigvaris

Leader du marché français de la compression médicale, le laboratoire Sigvaris s'est donc logiquement intéressé aux sportifs. Ils équipent principalement des champions du monde de trail.

Contrairement à BV Sport, les produits de chez Sigvaris utilisent la compression dégressive, c'est-à-dire maximale à la cheville et moindre au niveau du mollet.

Chaussettes de récupération

La chaussette de récupération de chez Sigvaris est la Recovery, associant la technologie DC.Fit avec une technologie brevetée qui est Sigfresh®, elle permet une récupération optimale après effort.

La zone Sigfresh® est une zone où le froid peut être conservé par la fibre Lunafa (coton + laine), le froid d'un spray cryogénique par exemple. Le froid a un effet vasoconstricteur, anti-inflammatoire et antalgique. La chaussette doit être utilisée tout de suite après l'effort et pendant au moins deux heures. Elle est disponible en 9 tailles, en noir ou en blanc. Il faut bien positionner le talon lors de la pose.



Figure 30 : Chaussette de récupération (<https://www.sport-orthese.com/chaussettes-de-recuperation/2557-chaussettes-recovery-2-sigvaris.html>)

Première née chez le sportif, la **gamme Pulse Road** est la référence chez Sigvaris. A porter pendant l'effort, elle se décline en 7 couleurs différentes avec ou sans motifs dans 19 tailles. Les produits possèdent la fibre Aquarius permettant l'évacuation de l'humidité, facilitant l'enfilage et un certain confort à porter.

Le label DC.Fit garantit une compression maîtrisée et adaptée à chaque morphologie qui permet un maintien du mollet pour éviter les microlésions, prévient les blessures et accélère le retour veineux.

Petite nouvelle chez Sigvaris, la gamme Pulse Elixir est la nouvelle génération des manchons de compression. Disponible en 8 tailles, elle est déclinée en 3 couleurs. Comprenant elle aussi le label DC.Fit, son amélioration vient de plusieurs choses : la technologie Infra est une construction capable de capter l'énergie thermique du corps ; la fibre Emanax brevetée contient des cristaux de biocéramiques qui réfléchissent les infrarouges émis par le corps, ce qui a pour conséquence d'activer la microcirculation sanguine ; et enfin le traitement Pure à base d'argent qui permet de stopper la prolifération des bactéries supprimant ainsi les odeurs.



Figure 31 : Manchon de compression : (<https://www.prevarice.com/manchon-de-compression-sigvaris-pulse-road-2.htm>)

BV SPORT

En 1989, le docteur Michaël Prüfer, cofondateur de BV SPORT, multiple champion du monde et champion olympique de ski de vitesse en 1992 aux J.O d'Albertville, s'intéresse à l'amélioration de la performance des sportifs de haut niveau. Le mode de compression utilisé est la compression progressive. Maximale au niveau du mollet, la pression est faible ou nulle aux autres zones (figure 32).

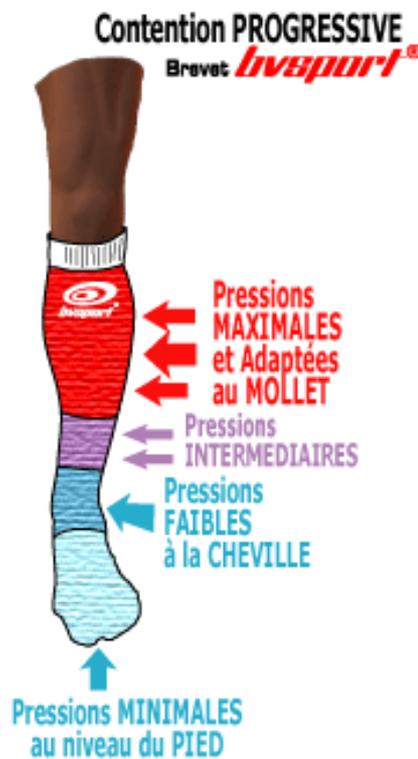


Figure 32 : compression progressive BV sport (<https://entrainement-sportif.fr/chaussettes-recuperation-contention-sport.htm>)

Chaussettes d'effort (figure 33) :

La dernière gamme est celle des **chaussettes d'effort XLR**. Elles ont les mêmes caractéristiques que les Booster au niveau du mollet. Les concepteurs ont travaillé sur le pied. La semelle est renforcée pour améliorer le maintien de l'aponévrose plantaire. Le talon et la pointe de pied sont en Friction Free pour éviter les échauffements et les ampoules. Le système Front Air assure une meilleure ventilation sur le dessus de pied. Le tricotage allégé au niveau du point de flexion facilite le mouvement du pied et est fait de 79% de polyamide, 13% d'élasthane et 8% de polyester. Ces chaussettes sont asymétriques.



Figure 33 : (<https://www.probikeshop.fr/chaussettes-bv-sport-prorecup-elite-evo-noir-2020/194867.html?>)

Le manchon Booster Original (figure 34) :

Est la gamme de référence chez BV Sport. Créé en 2003, il est fait de 77% de polyamides et 23% d'élasthane. Selon le laboratoire, il favoriserait l'action longitudinale des muscles jumeaux et du soléaire en réduisant le mouvement oscillatoire et les vibrations. Il améliorerait le retour veineux, favoriserait l'oxygénation musculaire, tendineuse et ligamentaire, repousserait le phénomène de jambes lourdes et réduirait le risque de crampes. Il existe 10 tailles et 10 couleurs différentes. Il existe aussi les Night vision qui possèdent des logos réfléchissants pour être repéré dans la nuit.



Figure 34 : Manchon d'effort booster elite, BV sport (<https://www.bvsport.com/fr/bons-plans/75-booster-elite-rouge-noir-manchon-d-effort.html>)

Chaussettes de récupération (figure 35) :

La gamme référence au niveau de la récupération chez BV Sport est la ProRecup Elite. Créée en 1998, elle est réalisée avec un tricotage spécifique et des pressions calculées sur des sportifs de haut niveau (25 mm Hg au niveau du mollet) qui favoriserait l'élimination rapide et optimale des toxines. Le soutien de l'aponévrose plantaire est réalisé par le biais de fils d'argent qui sont aussi antimicrobiens, antistatiques et anti-odeurs.



Figure 35 : Chaussette de récupération PRORECUP® Elite (<https://www.bvsport.com/fr/compression/334-chaussettes-recuperation-prorecup-elite-evo-blanche>)

III.3.5.3 Conseils à l'officine :

La prise de mesure

Prendre la mesure au plus fort de vos 2 cuisses en enroulant un mètre de couturière autour de votre cuisse au niveau le plus large. Notez la taille obtenue en centimètres.

Se reportez ensuite au tableau de correspondance.

2, 3 et 4 : ces mesures ne sont pas nécessaires pour choisir la bonne taille de boxer.

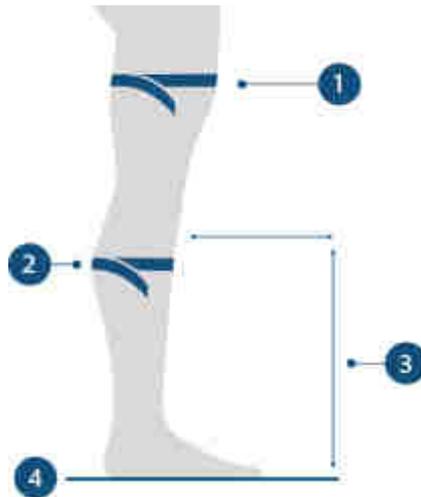


Figure 36 : <https://www.hardloop.fr/boutique/content/31-guide-des-tailles-bv-sport>

- 1 – Circonférence au plus fort de vos 2 cuisses
- 2 - Circonférence au plus fort de vos 2 mollets
- 3 - Hauteur du sol au-dessous du genou (Tubérosité Tibiale Antérieure)
- 4 - Votre pointure en taille européenne.

L'enfilage :

La compression s'enfile le matin au lever. Il ne faut pas utiliser de crème ou de lait avant la pose. Pour l'enfiler, tout d'abord, il faut glisser la main dans le bas jusqu'à venir pincer le talon avec son pouce et son index. Ensuite, il faut retourner le bas jusqu'à hauteur du talon pour pouvoir enfiler la pointe du pied. Après s'être assuré que la pointe du pied et le talon sont bien en place, on termine en déroulant le bas le long de la jambe. On peut masser le produit pour bien répartir la compression et tirer sur la pointe du pied pour libérer les orteils. (Sigvaris bien-être).

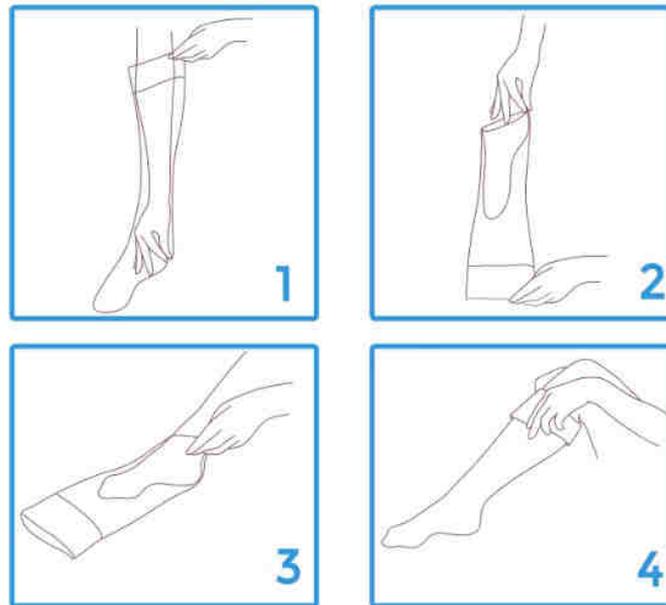


Figure 37 : Conseil d'enfilage (<https://www.mes-jambes.com/chaussettes-contention-active-resistant-femme-2-sigvaris>)

Conclusion :

Les effets positifs de la compression sur les performances physiques font encore débat dans la communauté scientifique. En effet, l'hétérogénéité des résultats peut être attribuée, en partie, à la grande variété des exercices étudiés (en termes de durée, d'intensité et de type de contraction musculaire), au type d'entraînement des sujets, à la partie du corps comprimée par le vêtement, à la durée et la période de son utilisation (pendant/après l'exercice), à l'intensité des pressions appliquées mais aussi en partie à l'absence de caractérisation précise des dispositifs utilisés dans les études.

Portés pendant l'effort, les vêtements de compression pourraient avoir quelques effets bénéfiques même si les résultats des études sont pour le moins contradictoires. L'utilité des vêtements de compression apparaît plus marquée dans le cadre de la récupération.

Par une possible amélioration du retour veineux, ils pourraient accélérer certains processus de récupération tels que le réapprovisionnement du muscle en glucose, la resynthèse aérobie de l'ATP ou encore l'élimination des métabolites.

III.3.6 L'aromathérapie :

Dans le cadre de la prise en charge des douleurs musculaires, c'est essentiellement l'action directe des huiles essentielles qui sera employée, même si le traitement de terrain peut lui aussi s'avérer utile. Les huiles essentielles seront ainsi utilisées dans un très grand nombre de cas, car elles ont des actions anti-inflammatoires, antivirales, cicatrisantes, astringentes, antiseptiques, tonifiantes, détoxifiantes, décongestionnantes, relaxantes.

Dans le cas des **douleurs musculaires**, il faudra appliquer les huiles choisies directement au niveau de la zone à traiter après avoir pris le soin de les diluer dans dix à vingt fois leur volume d'huile végétale.

Dans le cadre de la **récupération**, les massages aux huiles essentielles potentialisent les effets des massages. De même, la diffusion dans l'air de HE permet de créer un facteur d'ambiance propice à la récupération et à l'apaisement, mais aussi propager des substances purifiantes et antiseptique.

III.3.6.1 Conseils à l'officine :

Le pharmacien d'officine, dispose dans les officines un panel important d'huiles essentielles permettant d'aider le sportif dans différentes situations.

Parmi elles :

Contusions (hématome ou bleu)	- Disposer une compresse d'HE de camomille bleue sur la zone - Utiliser de l'HE d'hélichryse italienne (immortelle) mélangée à de l'HE de lavande vraie
Contractures musculaires	- L'HE de lavande est à employer sous forme de massages à raison de 2 à 3 gouttes mélangées à une cuillerée à café d'HV de son choix - 1 ml d'HE d'estragon associé à autant d'HE de gaulthérie à diluer dans 50 ml d'HV (massages à effectuer plusieurs fois par jour)
Courbatures	- Mélanger 2 gouttes d'HE de romarin , de marjolaine et de poivre noir avec de l'HV d'amande douce (masser la zone douloureuse) - Masser la région sensible avec de l'HE de géranium ou de

	menthe
Déchirures musculaires	<ul style="list-style-type: none"> - Mélange d'HE d'hélichryse, de lavandin super, d'eucalyptus citronné, d'HV d'arnica avec moitié moins d'HE de pin de Patagonie et de tanaïsie annuelle, le tout dans 5 fois plus de transcutol ou d'HV sèche (appliquer 4 gouttes 4 fois par jour) - Mettre 20 gouttes d'HE de clous de girofle, de cajepout, de romarin, de gaulthérie, de camphre, de menthe poivrée dans 30 ml d'HV et masser sans appuyer deux fois par jour (rajouter de l'HE d'hélichryse pour les déchirures du mollet)
Claquages	- HE de gaulthérie odorante (dilution à 10 %)
Crampes	<ul style="list-style-type: none"> - Utiliser 5 ml d'HE d'estragon mélangés à autant d'HE de gaulthérie ainsi qu'à 3 ml de laurier noble dans 100 ml d'HV Masser les zones sensibles avec 5 ml d'HE de romarin à cinéole et de lavandin dilué dans 30 ml d'HV - Masser simplement avec 3 gouttes d'HE de cannelle et de girofle - Diluer 4 gouttes d'HE de cajepout dans une cuillère à soupe d'HV et masser la zone concernée (on peut aussi mettre quelques gouttes dans son bain)
Élongations musculaires	- HE d'eucalyptus citronné mélangée à parts égales avec de l'HE d'hélychryse , de thym et de gaulthérie : appliquer 4 gouttes jusqu'à 5 fois par jour pendant deux semaines

Conclusion aromathérapie :

Au vu des résultats obtenus sur des population saines, on peut supposer de l'intérêt de l'aromathérapie dans le sport.

Dans le cadre de la récupération sportive, le massage aux HE potentialise l'effet bénéfique des massages. De même la diffusion dans l'air des HE permet de créer un facteur d'ambiance propice à la récupération et à l'apaisement des sportifs.

Conclusion :

Le pharmacien d'officine reste un acteur majeur afin de garantir la bonne santé de ses patients. Du fait de sa proximité et de sa disponibilité, il est à même de conseiller les sportifs quel que soit leur niveau. Grâce à ses connaissances et compétences, le pharmacien est capable de promouvoir l'activité physique mais également de mettre en garde les sportifs face au danger du surentrainement et ainsi d'aider le sportif à optimiser ses performances et à réduire le risque de blessures.

Tables des figures :

Figure 1: les différents types de muscle (D'après (en ligne) https://www.visiblebody.com/fr/learn/muscular/muscle-types)	12
Figure 2: classification des muscles selon l'organisation des fibres musculaire	15
Figure 3: organisations de l'enveloppe, attaches et vascularisation d'un muscle (D'après en ligne http://ao.um5.ac.ma/xmlui/bitstream/handle/123456789/827/M0782009.pdf?sequence=1&isAllowed=y)	16
Figure 4: Innervation du muscle squelettiques (D'après en ligne http://tpe-protheses-jda.e-monsite.com/pages/protheses-bioniques/au-niveau-physique.html)	18
Figure 5: Organisation réticulum sarcoplasmique et système T autour des myofibrilles (D'après en ligne https://www.aquaportail.com/definition-10726-tubule-transverse.html)	20
Figure 6: molécule d'actine (D'après en ligne https://bio.m2osw.com/gcartable/biomoleculaire/actine.htm)	21
Figure 7: molécule de myosine, (D'après http://vetopsy.fr/biologie-cellulaire/moteurs-moleculaires/myosine2-liaison-actine.php)	21
Figure 8: structure d'un sarcomère (D'après en ligne https://www.istockphoto.com/fr/vectoriel/structures-du-muscle-avec-fibre-myofibrille-et-diagramme-de-contour-du-sarcom%C3%A8re-gm134)	23
Figure 9: https://www.futura-sciences.com/sante/definitions/genetique-glycolyse-744/	29
Figure 10: cycle de creps : https://www.futura-sciences.com/sante/definitions/biologie-cycle-krebs-696/	30
Figure 11: Vectidyn® du laboratoire Nutergia	41
Figure 12: Pure LGlutamine® du laboratoire Eafit	41
Figure 13: BCAA® du laboratoire Eric Favre	42
Figure 14: encore BCAA® du laboratoire Eafit	42
Figure 15: Spiruline https://www.paratamtam.com/produits-energetiques-bien-etre/32877-arkopharma-arkogelules-bio-spiruline-x-150-3578835500592.html	72
Figure 16: Isoxan Sport Pro https://www.jevaismieuxmerci.com/isoxan-sport-force-42-comprimes-7308.html	72
Figure 17: Cycles de sommeil au cours d'une nuit normale de 8 h (hypnogramme)	75
Figure 18: Euphytose nuit : https://www.euphytosegamme.fr/bien-dormir/euphytosenuit-comprimes	79

Figure 19: ArkoRelax sommeil fort	
https://www.google.com/search?q=arkorelax+fort&tbm=isch&rlz=1C5CHFA_enFR	80
Figure 20: https://universpharmacie.fr/1660-weleda-huile-massage-arnica-200ml.html	94
Figure 21: -Lotion de massage baume du tigre https://www.aroma-zen.com/therapies-naturelles/phytotherapie/baume-collyre-teinturemere/baume-tigre-rouge-30g-tiger-balm-p-4116.html	94
Figure 22: https://www.pharmarket.com/puressentiel/articulations-muscles/articulations-et-muscles-friction-arnica-200ml-p6197	95
Figure 23: Gel défatiguant Sport Relax (Akileïne®) https://www.soin-et-nature.com/fr/9784-akileine-sport-gel-relax-anti-fatigue-75ml.html	95
Figure 24: Nexcare® ou Sport Akileine® https://www.amazon.fr/Nexcare-328443-Coldhot-Spray-froid/dp/B00TTX1LU2	97
Figure 25:Nexcare® ou Tensocold®	97
Figure 26: https://www.autourdelapharmacie.fr/actipoche/10884-cooper-actipoche-patch-chauffant-z-cible-3-patches-3614819995791.html	101
Figure 27: https://www.newpharma.fr/thermacare/519237/thermacare-patch-auto-chauffant-multi-zones-douleurs-musculaires-3-pieces.html	100
Figure 28: https://books.openedition.org/insep/1361	Erreur ! Signet non défini.
Figure 29: https://www.sport-orthese.com/chaussettes-de-recuperation/2557-Manchon d'effort	104
Figure 30 :Bv sport : https://www.prevarice.com/manchon-de-compression-sigvaris-pulse-road-2.htm	105
Figure 31:compression progressive BV sport D'apres en ligne https://entrainement-sportif.fr/chaussettes-recuperation-contention-sport.htm	105
Figure 32: https://www.probikeshop.fr/chaussettes-bv-sport-prorecup-elite-evo-noir-2020/194867.html?	106
Figure 33: https://www.bvsport.com/fr/bons-plans/75-booster-elite-rouge-noir-manchon-d-effort.html	107
Figure 34: https://www.bvsport.com/fr/compression/334-chaussettes-recuperation-prorecup-elite-evo-blanche	107
Figure 35: https://www.hardloop.fr/boutique/content/31-guide-des-tailles-bv-sport	108

Figure 36:<https://www.mes-jambes.com/chaussettes-contention-active-resistant-femme-2-sigvaris> 109

Bibliographie

<https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/physical-activity>

Améliorer sa récupération Hausswirth, christophe , INSEP publications, 2013

Améliorer sa récupération en sport, Chapitre 7. L'hydratation, Hausswirth christophe, Rousseau veronique, INSEP-Éditions, 2018

Améliorer sa récupération en sport, Chapitre 8. La nutrition, Hausswirth christophe, Bigard Xavier, Rousseau veronique, INSEP-Éditions, 2018

Améliorer sa récupération en sport, Chapitre 9 Le sommeil, Le Meur Melissa, Duffield Duffield , INSEP-Éditions, 2018

Conseils de nutrition et prise en charge du sportif à l'officine, de Regt Kendrick

Development of an Athlete Diet Index for Rapid Dietary Assessment of Athletes, Capling Louise, Gifford Janelle A., Beck Kathryn L., International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism, Int J Sport Nutr Exerc Metab, 2019

EuphytoseNuit® Comprimés, <https://www.euphytosegamme.fr/bien-dormir/euphytosenuit-comprimes>

Femmes sportives : L'importance des besoins en Fer chez la femme sportive ! OVERSTIM.s, <https://www.overstims.com/conseil/limportance-besoins-fer-chez-femme-sportive/>

La contraction musculaire, <https://planet-vie.ens.fr/thematiques/animaux/systeme-locomoteur/la-contraction-musculaire>

Les besoins protéiques chez le sportif d'endurance : Les stratégies alimentaires en pratique pour la gestion des apports protéiques totaux et la récupération, Rousseau veronique,

Les traitements de l'insomnie,

<https://www.vidal.fr/maladies/psychisme/insomnie/medicaments.html> , vidal

Quelles filières énergétiques pour quels types d'efforts ? <https://reussirsonbjpeps.com/filieres-energetiques/>

<https://www.bvsport.com/fr/content/23-qui-sommes-nous>

Sleep and the athlete: narrative review and 2021 experts consensus recommendations, Walsh Neil P, Halson Shona L, Sargent Charli, British Journal of Sports Medicine, 2021

Sport : comment reconnaître les signes de surentraînement ?

<https://www.generali.fr/actu/sport-reconnaitre-signes-surentraînement/>

Nutrition et performance en sport : la science au bout de la fourchette, Tiollier Eve, Hausswirth Christophe, Rousseau Véronique, Fosse Amélie, INSEP-Éditions, 2018

Tout Savoir Sur Le Calcium - Blog Eric Favre | Sport Nutrition Expert,

<https://www.ericfavre.com/lifestyle/calcium/>

Thèse: LA PRISE EN CHARGE À L'OFFICINE DES DIFFÉRENTES MÉTHODES DE RÉCUPÉRATION CHEZ LE SPORTIF, Melle MATHILDE BEAURAIN, 2019

CONSEILS DE NUTRITIONS ET PRISE EN CHARGE DU SPORTIF À L'OFFICINE, Kendrik DE REGT, 2021

La compression chez le sportif, conseils à l'officine, GINESTE Francescu, 2018

KAMINA P. Système musculaire, Anatomie clinique : Tome 1, anatomie générale, membres. 4ème éd. Paris : Maloine, 2012, p.47-62.

MARIEB E. Muscles et tissu musculaire, Anatomie et physiologie humaine. 2ème éd. Saint-Laurent : De Boeck Université, 1993, p.248-284.

HOEHN K, MARIEB E. Tissu musculaire : caractéristiques générales, Anatomie et physiologie humaines. 4ème éd. Saint-Laurent : Edition du Renouveau Pédagogique Inc., 2010, p.315-367. [4] FLANDROIS R, MONOD H. Aspects mécaniques, thermiques et électriques de la contraction musculaire, Physiologie du sport : bases physiologiques des activités physiques et sportives. 4ème éd. Paris : Masson, 2000, p.80-104.

DOUTRELOUX J. La fonction musculaire, Physiologie et biologie du sport. 2ème éd. Paris : Vigot, 2013, p. 215-217.

DE PERETTI F, MAES B. Appareil locomoteur, Manuel d'anatomie générale avec notions de morphogénèse et d'anatomie comparée : introduction à la clinique. Paris : Ellipses, 2010, p.10-46. (Collection Les cours de PAES)

KATCH F, KATCH V, McARDLE W. Muscle du squelette : structure et fonction. Physiologie de l'activité physique : énergie, nutrition et performance. 4ème éd. Paris : Maloine/Edisem, 2001, p.293-313.

FOX E, MATHEWS D. Structure du muscle squelettique. Bases physiologiques de l'activité physique. Paris : Vigot, 1984, p. 55-60.

COSTILL D, WILMORE J. Le fonctionnement musculaire. Physiologie du sport et de l'exercice : adaptations physiologiques à l'exercice physique. 3ème éd. Bruxelles : De Boeck, 2006, p. 27-47.

MARIEB E. Anatomie et physiologie humaine 2ème édition, chapitre 9

MEKRAMI S., BRIGNOL T.N, AFM, le muscle squelettique, Juin 2003

McARDEL W. Physiologie de l'activité physique 4ème édition, chapitre 18

FREY A, LE GARREC S., Pathologie traumatique du muscle strié squelettique. EMC - Appareil locomoteur 2017 ; 13(1):1-11 [Article 15-140-A-10].

POIRIER J, RIBADEAU-DUMAS JL, CATALA M, GHERARDI RK, BERNAUDIN JF. La contractilité cellulaire. Histologie moléculaire. 5e éd. Paris : Masson ; 1997.

Récupération et performance en sport ; ; suivi de S'améliorer à haut niveau par la récupération : Entretiens de l'INSEP, colloque des 10 et 11 décembre 2009 /

coordination Christophe Hausswirth

Paris : INSEP, DL 2010

Sportif, performant... et sans dopage !, Duclos-Lelieur, Valérie, Terre vivante Éditions,

Mens : Terre vivante, DL 2018

Nutrition du sportif / coordonné par Xavier Bigard, Charles-Yannick Guezennec, Issy-les-Moulineaux : Elsevier Masson, DL 2017

Santé et performances sportives : diététique de l'effort et micronutrition : questions de pratiquants / Stéphane Delage, Paris : Dauphin, DL 2017

Nutrition du sportif, Bigard, Xavier (Auteur), Guézennec, Charles-Yannick (Auteur), Issy-les-Moulineaux : Elsevier Masson, impr. 2007, cop. 2007

Sportifs : votre alimentation sur-mesure, Auger, Jérôme (Auteur), Delong,

Christophe (Auteur), Vanves : Hachette, DL 2017

<https://www.elsevier.com/fr-fr/connect/medecine/sport-et-pertes-en-vitamines,-mineraux,-oligoelements>

<https://www.ergysport.com/project/comblent-les-besoins-en-magnesium-du-sportif/>

https://www.bvsport.com/fr/?gclid=CjwKCAjwzeqVBhAoEiwAOrEmzZfzNQvFWmVYMuQpuyhTNIb2EoO6rnXJ-ZT2dBjoBGmMGxk_z7-OSRoCmuUQA_vD_BwE

<https://www.sigvaris.com/fr->

https://www.sigvaris.com/fr/?gclid=CjwKCAjwzeqVBhAoEiwAOrEmzbpauSkUqiPYNyJtKCnsTRnnU4pvx9iM3HyNWSFMyElUbid1pPSmwBoCPfMQA_vD_BwE

<https://www.stc-nutrition.fr/fr/dossiers/performances/atp-coeur-puissance-musculaire>

SERMENT DE GALIEN

Je jure, en présence de mes maîtres de la Faculté, des conseillers de l'Ordre des pharmaciens et de mes condisciples :

- ❖ D'honorer ceux qui m'ont instruit dans les préceptes de mon art et de leur témoigner ma reconnaissance en restant fidèle à leur enseignement.*
- ❖ D'exercer, dans l'intérêt de la santé publique, ma profession avec conscience et de respecter non seulement la législation en vigueur, mais aussi les règles de l'honneur, de la probité et du désintéressement.*
- ❖ De ne jamais oublier ma responsabilité et mes devoirs envers le malade et sa dignité humaine, de respecter le secret professionnel.*
- ❖ En aucun cas, je ne consentirai à utiliser mes connaissances et mon état pour corrompre les mœurs et favoriser des actes criminels.*

Que les hommes m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses.

Que je sois couvert d'opprobre, méprisé de mes confrères, si j'y manque.